TRAITÉ EXPÉRIMENTAL DE L'ÉLECTRICITÉ ET DU MAGNÉTISME,

ET DE LEURS RAPPORTS AVEC LES PHÉNOMÈNES NATURELS;

PAR M. BECQUEREL,

DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES DE L'INSTITUT DE FRANCE, ETC.

.. ..Si quid novisti rectius istis,
Candidus imperti. si non, his utere mecum.

TOME CINQUIÈME.

PREMIÈRE PARTIE.

PARIS.

FIRMIN DIDOT FRÈRES, LIBRAIRES,

RUE JACOB, N° 56.

M DCCC XXXVII.

TRAITÉ EXPÉRIMENTAL
DE
L'ÉLECTRICITÉ
ET
DU MAGNÉTISME.

LIVRE XI.

DES ACTIONS LENTES.

CHAPITRE PREMIER.

DES CAUSES QUI EXERCENT UNE INFLUENCE SUR LES ACTIONS ÉLECTRO-CHIMIQUES EN GÉNÉRAL.

§ 1er. *De l'influence des surfaces des corps de nature quelconque sur les effets électro-chimiques.*

1019. AVANT d'exposer les effets produits dans la réaction lente les unes sur les autres, de plusieurs substances en contact, nous devons montrer l'influence qu'exercent leurs surfaces suivant l'état dans lequel elles se trouvent.

On sait depuis longtemps que lorsqu'on abandonne à elle-même la solution saturée d'un sel, les cristaux se déposent sur les parois du vase qui la renferme, ainsi que sur les corps étrangers qu'on y plonge, et particulièrement sur les arêtes. La force qui agit dans cette circonstance est la même que celle qui produit la capillarité et qui détermine dans l'éponge de platine, à la

température ordinaire, la combinaison de l'hydrogène avec l'oxigène, propriété qui n'appartient pas seulement aux métaux non oxidables, mais encore à des corps, tels que le charbon, la pierre-ponce, la porcelaine, le verre, etc., que l'on chauffe au-dessous de 350°. La configuration de ces corps influe tellement sur les résultats, que l'on trouve une différence très-notable entre les quantités d'eau formées dans le même temps avec des fragments de verre, selon qu'ils sont anguleux ou arrondis. En général, ces effets sont d'autant plus sensibles, que les corps ont des surfaces plus nettes; c'est ainsi que des lames de platine qui ont servi à des décompositions électro-chimiques, produisent, du moins la lame positive, des effets semblables, parce que la surface du métal a été décapée par l'action de l'acide transporté. C'est tellement là la cause du phénomène, que l'on fait acquérir au platine la puissance la plus forte en le traitant d'abord à chaud avec la potasse caustique, puis avec l'acide sulfurique et le lavant dans l'eau distillée.

Il résulte de là que les surfaces, comme les corps poreux, jouissent de la propriété de condenser les gaz, et de faciliter leur combinaison en détruisant la force élastique qui s'y oppose.

1020. Nous avons déjà fait connaître quelques expériences qui montrent de quelle manière cette même force intervient dans les phénomènes électro-chimiques; nous allons en citer d'autres qui jetteront quelque jour sur son influence.

On prend un tube de verre fermé par un bout, de 8 à 10 centimètres de long et de 1 à 2 millimètres de diamètre; on introduit dedans de l'oxide de cobalt calciné et réduit en poudre très-fine avec de l'eau, un fil d'argent et une dissolution d'hydro-chlorate de chrome, puis l'on ferme l'ouverture supérieure. Au bout d'une quinzaine de jours, on commence à apercevoir dans la partie inférieure, sur la paroi même du tube, de petites dendrites métalliques. La réduction de l'oxide ne s'opère réellement que dans la partie qui est en contact avec le

verre. Notons bien ceci, car c'est un fait qui montre l'influence des surfaces sur la réduction de l'oxide. Cet effet ayant également lieu sans la présence de l'argent, nous devons en conclure que l'action exercée par la paroi est déterminante. Dès lors les électricités contraires dégagées dans la réaction lente de l'oxide de cobalt sur l'hydro-chlorate de chrome, se recombinent en suivant la couche de liquide adhérente à la paroi du tube; il faut donc que la paroi inférieure se comporte comme le pôle négatif. C'est un fait que nous allons chercher à interpréter.

Quand un corps est plongé dans un liquide, il y a action exercée de l'un sur l'autre, c'est-à-dire, du solide sur le liquide. On a admis, et cette supposition est justifiée par les rapports qui existent entre les résultats du calcul et ceux de l'expérience, que cette action, en vertu de laquelle le liquide adhère au solide, ne s'exerce qu'à une distance infiniment petite de la paroi. Cela posé, les particules de la couche de liquide excessivement mince, qui est soumise à cette action, ne doivent pas être dans le même état que celles qui sont placées à une certaine distance; dès lors, on peut dire avec certitude que les propriétés électriques de cette couche ne doivent pas être précisément les mêmes que celles de la portion du liquide qui n'est pas soumise à l'influence des forces capillaires; or, quand un corps réagit sur une solution, l'un et l'autre en contact avec une surface, la portion de la solution en contact avec celle-ci n'étant pas dans le même état que l'autre, peut servir à opérer la recomposition des deux électricités dégagées dans la réaction. Si la solution se comporte comme un acide, la portion du tube, qui exerce une action sur cette même solution, doit se comporter comme le pôle négatif, et faciliter par conséquent la réduction de l'oxide de cobalt; c'est probablement là ce qui se passe dans l'expérience précédente.

1021. Quelques exemples montreront d'une manière assez remarquable l'influence des surfaces sur la production des phénomènes électro-chimiques.

On a mis au fond d'un tube fermé, du sulfure noir de mercure, une solution saturée de sel marin, et une lame de cuivre plongeant dedans et traversant le sulfure. Au bout de quelques mois, on a commencé à apercevoir sur la paroi intérieure du tube des points métalliques de mercure, qui ont pris avec le temps un tel accroissement que, six ans après, ils avaient de 1 à 2 millimètres d'étendue. Ils formaient des rudiments d'octaèdres réguliers; sur la lame, au-dessus du sulfure, il s'est déposé aussi des petits octaèdres de mercure, combiné sans doute avec un peu de cuivre. Ici l'influence exercée par les surfaces est manifeste, puisque la décomposition du sulfure a commencé dans les parties où il était en contact avec le verre.

Interprétons les effets produits : le tube étant fermé hermétiquement, le cuivre, au bout de peu de temps, quand tout l'air a été absorbé, a cessé d'être attaqué par le sel marin; d'un autre côté, le sulfure de mercure n'étant pas sensiblement soluble dans la solution de sel marin, il faut donc admettre que le sulfure exerce sur le cuivre, par l'intermédiaire du sel marin, une action chimique excessivement faible, mais capable de mettre en jeu les effets électriques qui opèrent sa décomposition. Le soufre se porte sur le bout inférieur de la lame de cuivre, se combine partie avec ce métal, partie avec l'oxigène de l'eau qui est décomposée, tandis que le mercure est transporté sur le bout supérieur de la même lame où les molécules se groupent, conjointement avec des molécules de cuivre provenant du sulfate de cuivre, pour former de petits octaèdres; tandis que ces effets ont lieu, les portions de sulfure en contact avec le verre sont décomposées, et forment des rudiments d'octaèdre d'une très-grande minceur. Ces cristaux paraissent avant que l'on commence à en apercevoir sur la lame de cuivre. Ainsi, l'action capillaire a assez de force pour retenir le mercure et lui faire perdre son état liquide.

Dans un tube renfermant de l'oxide d'argent, une

solution saturée de sel marin et une lame de plomb, on a observé des effets semblables, réduction de l'oxide d'argent sur la paroi du verre produisant une surface métallique unie et brillante, et formation d'un grand nombre de cristaux de double chlorure de sodium et de plomb.

On a placé dans un tube du carbonate de cuivre, une solution de chlorure de sodium et une lame de plomb; la partie supérieure s'est recouverte de cuivre métallique, le carbonate est devenu noir, c'est-à-dire, anhydre, et la partie adhérente au verre a commencé à se réduire en dendrites métalliques. La surface du plomb s'est recouverte aussi de cristaux, de double chlorure de plomb et de sodium et de carbonate de plomb. Nous pourrions citer d'autres faits à l'appui des précédents, pour montrer le genre d'influence qu'exercent les surfaces des corps sur les phénomènes électro-chimiques, même lorsque ces corps ne sont pas conducteurs de l'électricité. L'action qui a lieu dans ce cas est une action attractive du verre sur les éléments qui sont à l'état naissant, ou qui sont transportés par les courants.

§ II. *De l'influence de l'oxidation et de diverses causes sur les effets chimiques.*

1022. Les effets électro-chimiques éprouvent des variations sur des lames d'un métal facilement oxidable, toutes les fois que leurs parties superficielles ne sont pas dans le même état d'homogénéité. M. Sturgeon (1) a fait, à ce sujet, quelques observations qui nous serviront de guide.

L'hétérogénéité peut exister sur les surfaces métalliques, par suite de l'oxidation qui n'a pas été la même sur tous les points, par la présence de corps étrangers qui y adhèrent, par l'écrouissage, le poli, et par d'autres causes dont il sera parlé ci-après. Il en résulte que

(1) Annals of Electricity, oct. 1836.

toutes les parties n'étant pas également attaquées, les effets électro-chimiques ne doivent pas être les mêmes.

Pour le prouver, on prend un petit vase de verre, rempli presque entièrement d'eau mêlée de quelques gouttes d'acide sulfurique et l'on introduit dedans un morceau de zinc, dont la surface est bien nette; si l'on regarde attentivement la surface, on voit que les points d'où s'échappe l'hydrogène sont peu nombreux; ce sont autant de pôles négatifs de très-petits couples voltaïques dont les pôles positifs sont placés alentour.

M. Sturgeon a exploré avec soin les surfaces avec un fil de cuivre et a trouvé que les effets produits étaient réellement électriques.

La position de ces points change fréquemment dans le cours de la dissolution du métal, en raison du dépôt d'oxide, de la texture du métal, du poli de sa surface, etc.

1023. On conçoit très-bien, d'après cela, pourquoi une lame de fer ou de zinc qui, avant d'être plongée dans l'eau, est polie, devient rugueuse après une longue immersion, car l'oxigène qui provient soit de l'eau, soit de l'air qu'elle renferme, se distribue inégalement sur les points de la surface qui n'étant pas également attaquables constituent autant de pôles positifs; les points qui forment les pôles négatifs n'éprouvant aucune altération restent tels qu'ils étaient d'abord. L'action chimique continuant, les pôles changent de position et il en résulte des inversions telles, dans leur nature électrique, que ceux qui étaient d'abord électro-négatifs deviennent électro-positifs et s'oxident à leur tour.

Cet effet s'observe également dans les actions brusques.

On peut expliquer maintenant pourquoi une surface rugueuse de zinc est plus sensiblement attaquée que lorsqu'elle est claire et unie. L'état rugueux annonce que les parties saillantes, par des causes quelconques, ont été moins attaquées que les parties profondes. Dèslors elles doivent constituer avec celles-ci des couples voltaïques

qui augmentent d'autant l'énergie de l'action chimique. D'un autre côté, quand la surface est lisse et unie, l'eau acidulée commence par réagir sur les parties où la force de cohésion est la moins forte, c'est-à-dire, dans le sens où le clivage est le plus facile; les parties saillantes commencent dèslors à se montrer et la surface devient rugueuse.

1024. M. Sturgeon a remarqué, comme M. Faraday, que le zinc trempé a des pôles plus puissants à sa surface que le zinc laminé, non-seulement dans les premiers instants de la réaction chimique, mais encore pendant tout le temps qu'elle s'exerce.

Le même physicien a rendu sensible de la manière suivante la différence d'action chimique qu'éprouvent les diverses parties d'une surface métallique.

Soit *a o b* (fig. 1) une lame de zinc recourbée, dont les deux bouts *a* et *b* plongent également dans une solution acide, et *n s* une aiguille aimantée, placée sur un pivot, comme l'indique la figure; les mouvements divers de cette aiguille et ses positions stationnaires accidentelles montrent que les courants électriques s'arrêtent quelquefois dans une direction et quelquefois dans une autre, pendant que le métal est attaqué par le liquide; ce qui est une conséquence du nombre, de la position et de l'énergie des pôles électriques distribués sur sa surface.

1025. M. Sturgeon (1) a appelé aussi l'attention des physiciens sur un fait très-remarquable dont nous devons nous occuper ici, et qui sert d'argument, il faut l'avouer, aux partisans de la force électro-motrice.

On sait que l'eau légèrement acidulée par l'acide sulfurique agit avec une certaine énergie sur une plaque de zinc; mais si la surface de ce métal est amalgamée, l'action est nulle ou à peine sensible. Si l'on vient à la toucher alors avec un fil de cuivre ou de platine, elle

(1) Nouvelles Recherches expérimentales, 1830, p. 74.

devient vive aussitôt; le zinc se dissout et l'hydrogène se dégage sur le fil, qui est le pôle négatif, du couple voltaïque. Pourquoi le mercure qui, dans son contact avec le zinc et l'eau acidulée, doit constituer également un couple voltaïque, ne produit-il pas un semblable effet? Il est difficile de répondre à cette question; nous essaierons cependant de le faire, après avoir passé en revue les phénomènes suivants, également très-remarquables, et qui ont quelque analogie avec celui dont nous venons de parler.

§ III. *Propriétés anomales du fer plongé dans l'acide nitrique.*

1026. Le fer possède la singulière propriété de ne pas être attaqué par l'acide nitrique dans lequel on le plonge, quand on l'a mis préalablement dans un état particulier que nous allons faire connaître. Cet état, qui est produit peut-être également sur d'autres métaux par des moyens que nous ignorons encore, doit être pris en considération dans l'examen des effets dus aux actions lentes.

Les phénomènes relatifs à la propriété anomale du fer ont été étudiés successivement par Bergman (1), Keir (2), M. Braconnot (3), Herschel (4), Schoenbein (5) et Faraday.

Lorsqu'on chauffe jusqu'au rouge une des extrémités d'un fil de fer, et qu'après son refroidissement on le plonge dans de l'acide nitrique d'une pesanteur spécifique de 1.35, cette extrémité n'éprouve aucune action, tandis que le même acide agit avec force sur le fer non chauffé.

Un fil de fer oxidé peut servir à préserver un fil qui

(1) Trans. phil., 1790, p. 374.
(2) Ibid., p. 374, 379.
(3) Annales de Ch. et de Phys., t. LII, p. 286.
(4) Ibid., t. LIV, p. 87.
(5) Philos. Magaz., mars et août 1836.

ne l'est pas. On prend pour cela un fil dont un des bouts est oxidé, et on le met en contact avec un autre fil de fer ordinaire, puis on les introduit l'un et l'autre dans de l'acide d'une pesanteur spécifique de 1. 35, le bout oxidé le premier et une portion du couple se trouvant en dehors. Les deux fils n'éprouvent aucune action chimique : il en est de même quand on les sépare. Le second fil peut servir à rendre indifférent un troisième fil et ainsi de suite.

Un fil indifférent étant plongé dans de l'acide nitrique, de manière à laisser une portion de sa longueur dehors du liquide, ainsi qu'un autre fil sans préparation, celui-ci éprouve immédiatement une action vive ; mais si l'on rapproche jusqu'au contact les bouts non immergés, le fil indifférent devient actif aussitôt, quelle que soit la longueur de chacune des parties immergées.

1027. Les expériences suivantes serviront à montrer jusqu'à quel point les effets électro-chimiques interviennent dans ces phénomènes. Si l'on plonge un fil de fer en tout ou en partie dans de l'acide nitrique et si, lorsque l'action est commencée, on le touche avec un fil de platine, l'action de l'acide sur le fer cesse aussitôt. La partie immergée devient brillante et n'éprouve aucun changement. L'effet est le même quand on substitue au platine un métal non oxidable, du charbon ou de la plombagine. Une petite surface de platine suffit pour annuler l'action de l'acide sur une large surface de fer. Il n'en est plus ainsi quand on touche le fer avec du cuivre, du zinc, de l'étain, du bismuth, de l'antimoine ou du plomb, il est attaqué aussitôt. L'acier se comporte comme le fer dans les expériences précédentes. Un fil d'acier plongé seul est d'abord attaqué, sa surface se recouvre d'une couche carbonacée, qui préserve non-seulement la partie immergée, mais celle qui ne l'est pas, quand on l'introduit dans le liquide. L'acide à 1. 399 n'agit pas sur les lames d'acier destinées aux ressorts de montres, même lorsqu'on élève leur température jusqu'à l'ébullition. Il n'en est pas de même de l'acier qui a reçu la trempe la

plus forte; il est attaqué avec une extrême violence avec l'acide chaud et avec assez de facilité par le même acide froid.

Lorsque le fer est dans un état d'inaction, on peut le conserver pendant 30 jours dans de l'acide nitrique, sans qu'il perde son brillant et sans que le métal soit attaqué le moins du monde.

Un couple de fer et platine entièrement plongé dans l'acide nitrique ne donne aucun effet quand on chauffe graduellement, mais lorsque l'acide commence à atteindre le terme de l'ébullition, le fer est attaqué et ne tarde pas à être dissous.

Le fer inactif conserve sa propriété quand on le retire de l'acide, qu'on l'expose à l'air, ou qu'on le plonge dans l'eau pure ou dans l'ammoniaque. Il devient actif dès l'instant qu'on frotte sa surface.

Quand on opère dans une capsule qui contient peu d'acide et que l'expérience est répétée à plusieurs reprises, l'acide devient incapable d'amener le fer à l'état inactif.

1028. Avant d'essayer d'expliquer la propriété singulière que prend le fer plongé dans l'acide nitrique, soumettons ce métal à différents essais, à l'aide d'une pile d'un petit nombre d'éléments.

Si l'on met un fil de platine en communication avec le pôle négatif et un fil de fer avec le pôle positif, et si l'on plonge les extrémités libres de ces fils dans de l'acide nitrique à 1.35, l'extrémité de platine la première, le fer n'est point attaqué et ce métal est également indifférent dès l'instant qu'on arrête l'action de la pile.

Si l'on fait usage d'un acide contenant 20 fois son volume d'eau et même 400 fois, et que l'on ferme le circuit de la manière indiquée, l'oxigène qui se dégage au pôle positif et qui provient de la décomposition de l'eau, ne se combine pas avec le fer et s'y développe justement de la même manière que si on opérait avec du platine, c'est-à-dire, que son volume est dans le rapport de 1 à 2, avec la quantité d'hydrogène dégagée au pôle négatif.

Quand le dégagement d'oxigène s'effectue rapidement, si l'on fait toucher au fil de fer le fil négatif dans l'acide, ce dégagement de l'oxigène est arrêté, non-seulement pendant le contact, mais encore après que les fils ont été séparés. Il suffit de tenir quelques instants hors de l'acide le fil de fer pour lui communiquer la propriété de favoriser le développement du gaz oxigène à sa surface. La production de l'oxigène a lieu également avec les acides sulfurique et phosphorique étendus, en fermant le circuit, comme il a été dit. Le dégagement de l'oxigène sur le fer, avec ces acides, s'arrête plus facilement et se rétablit avec plus de difficulté qu'avec l'acide nitrique. Avec une solution de potasse, on obtient de l'oxigène, quelle que soit la manière dont on ferme le circuit, mais il n'en est pas de même avec les solutions de chlorure, de bromure et d'iodure; l'oxigène qui provient de la décomposition de l'eau, ainsi que le chlore et le brome, se combine avec le fer.

L'argent, le cuivre, l'étain, le plomb, le cadmium, le bismuth, le zinc, le mercure ne présentent rien de semblable.

1029. Le fer rendu inactif, par les moyens indiqués, ne possède plus également le pouvoir de précipiter le cuivre et les métaux oxidables de leurs dissolutions respectives : si l'on prend un mélange à parties égales d'une solution de nitrate de cuivre et d'acide nitrique, et que l'on plonge dedans du fer à l'état ordinaire, il y a action immédiate et le cuivre est précipité; mais si le fer inactif est mis en communication avec une lame de platine plongeant, ainsi que lui, dans la solution préparée, il n'y a aucune action. Au bout de quelques secondes on peut enlever le platine; le fer reste pur et brillant pendant quelque temps, mais ensuite le cuivre commence à se précipiter et le fer est fortement corrodé.

Le fer et l'acier plongés dans une solution de nitrate d'argent perdent le pouvoir de précipiter le cuivre de ses dissolutions.

1030. Voyons maintenant les effets électriques produits dans les divers phénomènes que présente le fer plongé

dans l'acide nitrique, quand il est actif ou non actif : employons à cet effet deux fils, l'un en fer, communiquant avec l'une des extrémités du multiplicateur à aiguilles compensées d'une sensibilité moyenne; l'autre en platine, en relation avec l'autre extrémité. Quand le fer est actif, le courant est des plus énergiques; lorsqu'il est inactif, le courant est encore sensible; sa direction est la même et son intensité est à peu près constante pendant plusieurs jours. Il produit à notre appareil une déviation de l'aiguille aimantée de 65°.

La production de ce courant nous indique une action chimique, faible à la vérité, de la part de l'acide sur le fer; et cependant la surface de ce métal reste claire et brillante! Nous avons pensé que la partie du fer qui est au-dessus du niveau de l'acide étant humectée par l'acide et soumise à l'action de l'air, il pouvait résulter de là un courant; mais il n'en est pas ainsi; car, ayant passé le fil de part en part dans un tube de verre, on a ramolli à la lampe l'un des bouts pour que le verre s'appliquât exactement sur le métal, et l'on a plongé dans l'acide le fil par le bout préparé; l'effet a été le même, quoiqu'il n'y eût plus d'oxidation. L'expérience suivante ne laisse aucun doute, au surplus, sur la production du courant dans le contact de l'acide nitrique et du fer, quoique la surface de ce dernier reste constamment brillante.

On a formé une pile avec trois éléments, composés chacun d'une lame de fer inactive, d'une lame de platine, d'un centimètre carré, et d'acide nitrique à 1.35; à chacune des lames était attaché un fil du même métal, servant à établir la communication d'un couple à l'autre; à chacun des fils extérieurs on a fixé un fil de cuivre; les deux bouts libres ont été plongés dans une solution de nitrate de cuivre assez concentrée. Quelques heures après, le bout négatif présentait du cuivre, réduit, et le bout positif était oxidé. Ce résultat prouve évidemment le dégagement d'électricité dans chacun des couples qui composaient la pile.

1031. La propriété dont jouit le fer préservé est ana-

logue à celle que possède une lame de platine positive, qui a servi à décomposer l'eau avec la pile. Or, ne pouvant admettre dans ce cas que le platine ait été oxidé, il est probable que l'oxigène recouvre la surface dans toutes ses parties et qu'il s'en dégage peu à peu quand l'action de la pile cesse. Dans le fer préservé l'oxigène produit un effet analogue, sans qu'il y ait pour cela combinaison.

1032. M. Faraday (1) partage aussi cette opinion, tout en convenant que la cause qui préserve le fer de l'action de l'acide est difficile à apercevoir. Suivant ce célèbre physicien, lorsque le métal est inactif, les particules de sa surface sont entourées d'une couche d'oxigène, par suite de la préparation qu'on leur a fait subir, et se trouvent ainsi dans un rapport tel avec l'oxigène de l'acide, qu'elles résistent à son action. Cette fixation de l'oxigène sur la surface du fer ne constitue pas une oxidation, mais elle sert à établir entre le métal et l'acide un rapport semblable à celui qui résulte du contact du zinc et du mercure (1025), de manière à produire des effets analogues quand le fer plonge dans l'acide nitrique et le zinc amalgamé dans l'eau acidulée.

1033. M. Nobili, en cherchant à expliquer les couleurs produites sur les plaques métalliques, au moyen de l'action chimique des courants électriques, reconnaît l'existence d'un état moléculaire semblable à celui que nous venons d'indiquer, car il considère les couleurs d'oxigène et d'acide, qui produisent ces couches, comme adhérentes d'une manière permanente aux surfaces de platine, de fer, d'acier, etc., qu'il a employées dans ses expériences, sans cependant être en combinaison chimique avec les métaux.

Voilà tout ce que nous pouvons dire jusqu'ici, dans les limites des phénomènes électro-chimiques, sur les causes inhérentes aux surfaces métalliques qui peuvent exercer une influence sur les actions qu'elles éprouvent de la part des agents chimiques.

(1) Philo. magn., mars 1837.

CHAPITRE II.

DE DIVERSES CAUSES POUVANT DEPENDRE D'EFFETS ÉLECTRIQUES QUI EXERCENT UNE INFLUENCE SUR LES ACTIONS CHIMIQUES.

§ I^er^. *De l'influence que l'eau exerce sur un grand nombre de composés.*

1034. Dans toutes les actions lentes que nous allons exposer, l'eau jouant un certain rôle, soit en cédant aux corps en présence un de ses principes ou tous les deux, soit en servant de véhicule aux électricités dégagées dans les actions chimiques, nous devons examiner quelques-unes des circonstances où ce liquide exerce une action déterminante sur les phénomènes de décomposition et de recomposition.

On a observé depuis longtemps que l'acide sulfurique anhydre n'exerce aucune action sur le zinc, mais qu'il s'en manifeste une très-vive, dès l'instant qu'on y ajoute une goutte d'eau. Le cuivre éprouve une action semblable de la part de l'acide nitrique concentré, lorsqu'on y verse également une goutte d'eau. Il est difficile de supposer que cette petite quantité d'eau, qui détermine dans l'acide une vive effervescence, soit là uniquement pour contribuer à la formation d'un hydrate. Si nous voulons expliquer ce fait, en nous appuyant sur la théorie électro-chimique, nous dirons : Il faut toujours trois substances, dont une liquide au moins, pour produire un courant électro-chimique; or, quand le cuivre est plongé dans l'acide

nitrique concentré, on ne peut douter qu'il n'y ait déjà une action chimique, faible à la vérité; mais si on y ajoute une goutte d'eau, qui se répand aussitôt dans tout l'acide, la particule de ce liquide, qui se trouve en contact avec les particules acier et acide, sert à constituer un couple voltaïque, dont l'action contribue à activer l'effet chimique.

M. Pelouze, qui a étudié ce phénomène, a trouvé que l'acide nitrique très-concentré n'attaque pas sensiblement la couleur bleue du papier tournesol bien sec et ne réagit même pas sur la craie à l'aide de l'ébullition.

Il existe un bon nombre de faits analogues aux précédents.

1035. On doit rapporter à des effets du même genre la différence que présente l'intensité de l'action chimique de l'acide sulfurique sur le zinc, suivant que ce métal est très-pur ou mélangé. Le zinc pur, plongé dans de l'acide sulfurique étendu d'eau, est à peine attaqué dans les premiers moments, tandis que le zinc du commerce, placé dans les mêmes circonstances, produit une grande quantité de gaz. M. de Larive, qui a observé ce fait, a cherché à déterminer les circonstances qui influent sur la quantité de gaz hydrogène que peut produire, dans un temps donné, l'action qu'exerce sur le zinc l'acide sulfurique étendu d'eau.

Il résulte de ses expériences, que la proportion d'eau et d'acide sulfurique qui donne naissance, par son action sur le zinc, à la plus grande quantité de gaz hydrogène, est celle dans laquelle l'acide entre dans la solution pour 30 à 50 pour 100 en poids; que cette même proportion est celle qui est la meilleure conductrice de l'électricité; que la différence que l'on observe entre le zinc distillé et le zinc du commerce, sous le rapport de l'action qu'exerce sur eux l'acide sulfurique étendu d'eau, paraît provenir des substances étrangères qui sont mélangées avec le zinc du commerce, et particulièrement du fer qui s'y trouve toujours en plus ou moins grande quan-

tité; que l'influence de ces substances hétérogènes semble, d'après toutes les circonstances qui l'accompagnent, être due à un effet électrique qui résulte de leur contact avec les particules plus oxidables de zinc.

Il est inutile d'ajouter d'autres faits à ceux qui précèdent pour indiquer l'influence que l'eau exerce quelquefois sur certaines réactions chimiques.

§ II. *Des changements chimiques produits dans les corps par le frottement, la porphyrisation et la désagrégation.*

1036. Avant d'aborder l'importante question de la décomposition des roches et en général des corps qui se trouvent à la surface du globe, ou à peu de distance de cette surface, dans l'intérieur, nous devons reprendre une question que nous n'avons fait qu'indiquer (1), celle qui concerne les décompositions chimiques produites par diverses actions mécaniques simples, qui sont ordinairement accompagnées d'effets électriques que nous avons décrits.

Lorsqu'on clive un minéral quelconque régulièrement cristallisé non-conducteur de l'électricité, chaque surface séparée emporte avec elle un excès d'électricité contraire. Ce phénomène n'est soumis à aucune loi, puisque chaque face, semblablement placée par rapport à l'axe du cristal, ne prend pas toujours la même espèce d'électricité. Nous avons inféré de là que le clivage, ainsi que diverses autres actions mécaniques, qui donnent lieu à un dégagement d'électricité analogue, sont probablement accompagnés de décompositions chimiques.

Pour reconnaître s'il y a décomposition chimique, ou non, quand on clive un minéral, ou qu'on le soumet à la porphyrisation, il faut opérer sur des substances dont les éléments ne peuvent se combiner immédiatement

---

(1) Tome II, p. 75.

après leur séparation, tels que les silicates, les carbonates, etc.

Les éléments dont on a particulièrement à constater l'existence, sont des acides ou des alcalis; mais leur quantité est souvent si petite qu'il est nécessaire d'employer des réactifs très-sensibles.

Pour les alcalis, nous nous sommes servi de l'infusion de chou rouge, de bois de Campêche, du papier tournesol, légèrement rougi par un acide, et du papier curcuma; pour les acides, des mêmes infusions et du papier tournesol.

Les substances soumises à l'expérience ont été pulvérisées dans un mortier d'agate, lavées préalablement et à plusieurs reprises avec de l'eau distillée; puis placées avec une goutte d'eau sur le papier à réactif, ou projetées dans l'infusion.

On a observé depuis longtemps que le verre pilé dans un mortier d'agate verdit le sirop de violette, et que le nitrate d'ammoniaque trituré de la même manière avec le carbonate de chaux donne naissance à du carbonate d'ammoniaque qui se dégage et à du nitrate de chaux. Vauquelin avait aussi remarqué que la poussière de la stilbite et celle de l'amphygène, qui sont des silicates de potasse et d'alumine, verdissent fortement le sirop de violette à la manière des alcalis; que la topaze, qui ne renferme pas d'alcali, ainsi que le cristal de roche, qui est de la silice pure, jouit de la même propriété.

On savait également que le carbonate de chaux, tenu en dissolution dans l'eau, réagit comme les acides sur la teinture de tournesol, et comme alcali sur l'infusion de bois de Campêche. Ces exemples indiquent qu'on ne saurait trop se mettre en garde, quand on cherche à constater la présence des acides et des alcalis à l'aide des couleurs végétales, des changements que celles-ci éprouvent dans leur réaction sur divers corps. M. Chevreul a trouvé, par exemple, que les hydrates de magnésie, d'yttria, de glucine, de zircone et d'alumine, le protoxide de manganèse, etc., forment, avec l'hématine, des com-

binaisons bleues insolubles dans l'eau; ces corps se comportent donc comme des alcalis par rapport à la matière colorante. Le même chimiste a découvert aussi que les sels à base de potasse et de soude, dont l'acide est faible, agissent comme des alcalis faibles sur l'hématine et la font passer à un rouge légèrement pourpre.

Si l'on fait passer à travers un filtre de papier joseph une infusion de chou rouge ou de bois de Campêche, la première devient verte et la seconde violette. Ce changement de couleur, qui semble indiquer une réaction alcaline, nous avertit qu'il ne faut pas employer de papier joseph dans les expériences du genre de celles dont nous nous occupons, soit pour filtrer, soit pour essuyer les corps.

1037. Quand on met dans de l'infusion de chou rouge, préparée nouvellement, un cristal de spath d'Islande, du calcaire compacte ou cristallin, des concrétions calcaires poreuses, de la marne, de l'arragonite ou du spath d'Islande pulvérisé, tous ces corps verdissent plus ou moins rapidement l'infusion, à l'exception du premier qui ne lui fait éprouver aucun changement sensible dans l'espace de 24 heures. Il est probable que dans ce cas, la matière colorante exerce une action répulsive sur l'acide carbonique de la même manière que l'hématine agit sur les sels à base de potasse et de soude dont l'acide est faible. Ainsi on n'en peut pas conclure que le carbonate de chaux soit réellement alcalin. Dans nos expériences nous nous sommes mis en garde contre les effets que nous signalons, comme on va le voir.

1038. Si l'on porphyrise, dans un mortier d'agate, un cristal de mésotype, double silicate de soude et d'alumine, la poussière non-seulement donne la réaction alcaline, avec les infusions de chou rouge et de bois de Campêche, mais elle réagit encore sur le papier de curcuma, effet qui n'a lieu que lorsque l'alcalinéité est assez marquée; il est facile de prouver que l'effet produit est bien dû à l'alcali mis en liberté par l'effet de la trituration et non à l'action des matières colorantes sur la mé-

sotype; car il suffit de laver la poussière à plusieurs reprises, avec de l'eau distillée, pour lui enlever la propriété de réagir sur les couleurs végétales. Au surplus, si l'on verse quelques gouttes d'acide hydro chlorique dans l'eau et que l'on fasse évaporer et cristalliser, on obtient de petits cristaux de chlorure de sodium.

Le basalte, le feldspath et différentes laves qui renferment de la potasse ou de la soude, produisent les mêmes effets, quoiqu'à un degré différent; or, comme la porphyrisation de ces diverses substances est accompagnée de phosphorescence, signe indicateur d'effets électriques, on peut admettre que l'action mécanique suffit pour décomposer les corps dans certaines limites.

Le fer oligiste, plusieurs silicates non alcalins, le cristal de roche, différents quartz, le sulfate de baryte, etc., chauffés préalablement et lavés ensuite avec de l'eau distillée, ne donnent point la réaction après la trittiration; on doit donc attribuer la réaction alcaline observée par Vauquelin à des corps étrangers adhérents à la surface du cristal de roche et contre lesquels il ne s'était pas mis en garde.

1039. La chaleur dégagée dans la porphyrisation n'intervient-elle pas pour opérer la décomposition que nous venons de signaler? Nous ne le pensons pas. Voici nos raisons : élevons jusqu'au rouge la température d'un fragment de mésotype, plaçons-le après le refroidissement sur un papier à réactif, avec une goutte d'eau; il ne se manifeste aucune réaction. Broyons-le ensuite, et après avoir lavé la poudre à plusieurs reprises avec de l'eau distillée, chauffons-la jusqu'à ce qu'elle commence à s'agglutiner; elle ne manifestera encore aucune réaction alcaline : mais il n'en sera plus de même en la triturant de nouveau; elle se comportera alors comme il a été dit ci-dessus.

1040. On facilite la décomposition des corps par la porphyrisation et le frottement, en leur présentant d'autres corps dont les éléments peuvent réagir sur les leurs, à la manière des doubles décompositions.

1041. Lorsque l'on broie dans un mortier d'agate, dont la surface est très-sèche, parties égales de carbonate de baryte et de sulfate de potasse chauffé préalablement au rouge pour en chasser l'eau interposée, il y a aussitôt réaction des deux sels l'un sur l'autre, formation de sulfate de baryte d'une part et de carbonate de potasse de l'autre, dont la quantité est suffisante pour rougir le papier de curcuma.

Si l'on triture ensemble, dans un mortier d'agate, du nitrate de plomb et de l'iodure de potassium, dans les proportions voulues pour que les deux sels se décomposent réciproquement, la décomposition s'effectue en quelques instants et l'on a pour résultat, d'une part, de l'iodure de plomb, et, de l'autre, du nitrate de potasse. Le sulfure d'argent porphyrisé avec le mercure est décomposé, il y a amalgamation de l'argent et formation de sulfure de mercure.

1042. Lorsqu'on passe rapidement un cristal de sulfate de potasse sur une plaque de calcaire, il y a aussitôt un indice de décomposition, d'où résulte formation de sulfate de chaux et de carbonate de potasse.

Si l'on soumet à la porphyrisation un fragment de pyrite de fer (proto-sulfure), du poids de quelques décigrammes, la poussière change immédiatement en vert la couleur bleue de chou rouge. En la lavant avec de l'eau distillée, celle-ci donne la réaction propre au proto-sulfate de fer.

Tous les faits que nous venons de rapporter prouvent que lorsqu'une substance se désagrège par une cause quelconque, il y a séparation d'une portion des éléments des molécules qui étaient en contact. Cette observation est d'une grande importance pour l'étude de la décomposition des roches sur laquelle les variations de température exercent une grande influence.

CHAPITRE III.

DES DOUBLES DÉCOMPOSITIONS, OU DÉCOMPOSITIONS SUCCESSIVES.

§ Ier. *De la formation des sous-sels.*

1043. Le principe des doubles décompositions est connu depuis longtemps en chimie; mais on n'a pas encore cherché à s'en servir pour expliquer les altérations qu'éprouvent certaines roches, par l'action d'eaux minérales chargées de sels alcalins, métalliques ou terreux, qui les traversent.

Les eaux minérales, en parcourant l'intérieur des montagnes, s'infiltrent à travers les roches, réagissent sur leurs éléments et nous apportent en dissolution les parties solubles, tandis que celles qui ne le sont pas, restent adhérentes à leur surface. Nous avons eu l'occasion de nous convaincre de l'effet de ces eaux dans plusieurs anciennes galeries de mine et dans les crevasses de plusieurs roches, notamment à Pontgibaud et à Vienne en Dauphiné. Les parois de ces galeries sont tapissées de cristaux assez gros de sélénite et de carbonate de chaux, bien que la nature des roches de ces contrées ne soit nullement calcaire; c'est en examinant avec soin ces formations modernes que nous avons eu l'idée de nous occuper de l'action des eaux minérales sur les roches.

1044. Il est nécessaire de présenter d'abord quelques développements sur les transformations successives que l'on fait subir à divers composés par le moyen des doubles

décompositions, pour arriver à former des composés semblables à ceux que l'on trouve dans la nature. Les doubles décompositions qui opèrent ces transformations, ont une puissance d'action dont on ne connaît pas encore toute l'étendue. Pour en donner une idée, prenons une dissolution saturée, ou non, de nitrate ou de sulfate de cuivre, peu importe, et plongeons dedans un morceau de craie, de calcaire grossier, ou du calcaire poreux; voici ce qui se passe avec la dissolution de nitrate de cuivre, par exemple : le sel métallique réagit peu à peu sur le calcaire, il lui cède une portion de son acide, en chasse l'acide carbonique, et de là résultent du nitrate de chaux, qui se dissout, et du sous-nitrate de cuivre insoluble, qui se dépose en petits cristaux verts aciculaires sur le calcaire; l'action continue dans l'intérieur. Il faut donc que par l'effet de deux courants, dirigés en sens contraire, le nitrate de cuivre pénètre dans les interstices, et que le nitrate de chaux et l'acide carbonique en soient expulsés.

Des morceaux qui sont restés un mois en expérience, ont été recouverts d'une couche de petits cristaux de sous-nitrate, d'un millimètre d'épaisseur. En opérant avec des cristaux de spath d'Islande, ou des morceaux de spath calcaire compacte, l'action n'est que superficielle, et il est probable qu'il faudrait un temps considérable pour que la masse fût entamée. En substituant au nitrate de cuivre le sulfate, on obtient un sous-sulfate cristallisé vert insoluble. Le chlorure de cuivre donne également le sous-chlorure cristallisé.

Si l'on veut accélérer la formation de ces sous-sels, on peut employer l'action de la chaleur; mais alors les cristaux sont moins nets.

1045. En soumettant au même mode d'expérience des sels à base de fer, particulièrement le proto-sulfate, on obtient un sous-sulfate concrétionné rubigineux, qui a de l'analogie avec celui que l'on trouve dans la nature; il se dépose en même temps une grande quantité de cristaux de sélénite.

1046. En examinant tous ces produits, on serait tenté de les regarder comme des minéraux, tant ils en ont l'aspect. Les sels à base de fer, et en général tous les sels métalliques qui ne sont pas capables de former les sous-sels, ne donnent aucun effet de ce genre. Nous examinerons plus loin leur action sur les roches calcaires ou autres.

Arrivons aux transformations successives.

§ II. *De l'action des bi-carbonates alcalins sur les sous-sels.*

1047. Lorsqu'on laisse séjourner un morceau de calcaire, dont la surface est recouverte de cristaux de sous-nitrate de cuivre, dans une solution de bi-carbonate de potasse étendue d'une ou de deux fois son volume d'eau, on ne tarde pas à s'apercevoir que ces cristaux prennent une teinte plus foncée et qu'ils se changent peu à peu en un double carbonate de cuivre et de potasse, qui cristallise en aiguilles. Dans la réaction lente du sous-nitrate sur le bi-carbonate, celui-ci cède une portion de son acide à l'oxide de cuivre; il en résulte un carbonate de potasse qui se combine avec le carbonate de cuivre.

Quant à l'acide nitrique, qui devient libre, il réagit immédiatement sur le carbonate de chaux en contact avec le sous-nitrate, il le décompose et forme un nitrate de chaux, qui est expulsé en même temps que l'acide carbonique. Aussitôt que ce nitrate est en contact avec le bi-carbonate alcalin, il s'opère encore une nouvelle décomposition, d'où résulte un carbonate de chaux, qui cristallise en très-petits rhomboïdes. La manière dont le carbonate de chaux est produit, indique son origine; car il forme des traînées tuberculeuses, dont le bout correspond toujours à un interstice du calcaire. La forme tuberculeuse est due au dégagement du gaz venu de l'intérieur avec la dissolution de nitrate de chaux, qui est décomposée immédiatement par le bi-carbonate.

Nous voyons donc qu'avec du calcaire poreux, tel que le calcaire grossier parisien, et des dissolutions de nitrate de cuivre et de bi-carbonate de potasse, on obtient successivement des cristaux de sous-nitrate de cuivre, de double carbonate de cuivre et de potasse, et des cristaux rhomboïdaux de carbonate de chaux.

1048. Poursuivons les transformations, pour arriver au carbonate hydraté de cuivre. Si, après avoir retiré de la dissolution du bi-carbonate et lavé le morceau en expérience, on le plonge dans une solution de sulfate de cuivre, de nouvelles réactions se manifestent insensiblement. D'une part, il y a formation d'un double sulfate de potasse et de cuivre, qui reste dissous, et de sous-sulfate de cuivre, qui cristallise en aiguilles; de l'autre, le carbonate vert, qui provient du double carbonate, se dépose en cristaux verts aciculaires; mais on conçoit qu'il est nécessaire d'arrêter l'expérience à temps, pour ne pas décomposer ensuite le carbonate de cuivre. Il nous est arrivé quelquefois de trouver sur un des échantillons de petits cristaux bleus de carbonate de cuivre. Voilà donc des composés insolubles qui cristallisent en se formant, par cela même que les forces qui les produisent agissent lentement et sans interruption, par l'intermédiaire de corps étrangers, avec lesquels les corps agissants sont en contact.

En soumettant au même mode d'expérimentation que le sous-nitrate de cuivre, le sous-sulfate, on obtient des résultats semblables; la première transformation donne naissance à un double carbonate de cuivre et de potasse, que l'on traite de nouveau par le sulfate de cuivre. Nous ne parlons pas du double sulfate de potasse et de cuivre qui se produit en même temps. L'art consiste donc, dans les transformations successives, à choisir des dissolutions qui réagissent très-lentement sur des doubles combinaisons insolubles, pour en retirer un des deux éléments et laisser l'autre, dont les parties se groupent régulièrement. Cette méthode revient à celle que nous avons fait connaître (542, etc.) pour préparer les sulfures, les io-

dures et les bromures métalliques, en faisant intervenir l'action des forces électriques.

Nous avons employé une dissolution de bi-carbonate de potasse; mais si on lui en substitue une de sous-carbonate, on obtient encore le double carbonate de cuivre et de potasse, lequel, au lieu de déposer en aiguilles, forme de jolis petits cristaux prismatiques hexaèdres droits.

1049. Il était utile de constater si le carbonate de cuivre obtenu (1048) ne renfermait pas encore de la potasse; voici les essais que l'on a faits pour cela. Soumis à une ébullition prolongée dans de l'eau distillée que l'on a renouvelée à plusieurs reprises, le carbonate n'a pas changé de couleur et les cristaux ont conservé leur insolubilité. Il a fait effervescence avec les acides, et la couleur de la dissolution était celle qui est propre aux sels de cuivre.

Quelques fragments ayant été traités sur un fil de platine parfaitement décapé, on n'a obtenu aucune scorie vitreuse; le fil s'est recouvert d'une croûte d'alliage. En le plongeant dans l'acide nitrique, il n'y a pas eu la moindre effervescence, preuve que le morceau d'essai ne renfermait pas de carbonate de potasse. La dissolution de platine a donné la même indication, même en ajoutant de l'alcool, qui favorise la précipitation du double chlorure de potassium et de platine.

Ces essais prouvent évidemment que les petits cristaux appartenaient bien au carbonate de cuivre.

1050. La théorie atomique rend parfaitement compte de toutes les décompositions et recompositions que nous venons de faire connaître.

1^re^ OPERATION.

Corps en présence.	Produits observés.
Nitrate de cuivre.... $\dot{\mathrm{Cu}}\ \overset{\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot}{\mathrm{N}}$	Nitrate quinti-basique de cuivre..... $\dot{\mathrm{Cu}}^{5}\ \overset{\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot}{\mathrm{N}}$
Carbonate de chaux.. $\dot{\mathrm{Ca}}\ \ddot{\mathrm{C}}$	Nitrate de chaux.... $\dot{\mathrm{Ca}}\ \overset{\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot}{\mathrm{N}}$

En supposant exact l'énoncé des produits observés, il faut cinq atomes de nitrate de cuivre pour former un atome de nitrate quinti-basique ; dès lors il y a cinq atomes d'acide nitrique qui réagissent sur le carbonate de chaux, pour former cinq atomes de nitrate de la même base. Jusqu'ici point de difficulté. Passons à la seconde opération.

Corps en présence.	Produits observés.
Nitrate quinti-basique de cuivre....... $\dot{Cu}^5\ \overset{\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot}{N}$	Double carbonate de cuivre et de potasse. $\dot{Cu}\ \ddot{C} + \dot{K}\ \ddot{C} + Aq.$
Bi-carbonate de potasse......... $\dot{K}\ \ddot{C}^2$	Nitrate de potasse.... $\dot{K}\ \overset{\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot}{N}$
Carbonate de chaux.. $\dot{Ca}\ \ddot{C}$	Nitrate de chaux.... $\dot{Ca}\ \overset{\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot}{N}$

Un atome de nitrate quinti-basique de cuivre, pour que les réactions indiquées s'effectuent, doit décomposer cinq atomes de bi-carbonate de potasse; cinq atomes d'acide carbonique deviennent libres et se combinent avec les cinq atomes d'oxide de cuivre; puis les cinq atomes de carbonate de cuivre formés, se combinent avec les cinq atomes de carbonate de potasse. L'atome de nitrate quinti-basique de cuivre abandonne un atome d'acide nitrique, qui réagit sur un atome de carbonate de chaux, d'où résultent un atome de nitrate de chaux et un dégagement de gaz acide carbonique, dont le passage dans la liqueur est indiqué, comme nous l'avons dit, par des tubercules allongés de carbonate de chaux.

1051. Il reste à examiner la décomposition du double carbonate de potasse et de cuivre par le sulfate de cuivre.

Corps en présence.	Produits observés.
Double carbonate de cuivre et de potasse...... $\dot{Cu}\,\ddot{C} + \dot{K}\ddot{C} + Aq.$	Carbonate de cuivre. $\dot{Cu}\ \ddot{C}$
	Sous-sulfate de cuivre. $\dot{Cu}^3\ \dddot{S}$
Sulfate de cuivre.... $\dot{Cu}\ \dddot{S}$	Sulfate de potasse.... $\dot{K}\ \dddot{S}$

A l'inspection seule de ces formules, on voit que lorsque le sulfate de cuivre réagit sur le double carbonate, il en résulte du carbonate de cuivre, du sulfate de potasse, un dégagement de gaz acide carbonique et de l'hydrate de cuivre.

On voit donc que les décompositions et recompositions s'opèrent conformément aux lois de la théorie atomique.

§ III. *De l'action de quelques solutions salines sur les sous-sels.*

1052. En faisant réagir les sous-sels sur des solutions de phosphate, d'arséniate, de chromate, d'oxalate, de tungstate, de succinate alcalin, on obtient des résultats analogues.

Si l'on met, par exemple, le sous-nitrate de cuivre dans une solution saturée de phosphate d'ammoniaque, on ne tarde pas à s'apercevoir que le sous-sel se décompose peu à peu, et qu'il se dépose sur la surface, çà et là, une multitude de cristaux limpides incolores, formant des houppes radiées, tandis que la couleur verte du sous-sel prend une teinte bleuâtre. En examinant la nature de ces produits, on trouve que les cristaux limpides sont formés de phosphate de chaux pur, et la partie verte d'un double phosphate de cuivre et d'ammoniaque.

Ce phosphate de chaux n'est pas phosphorescent. Par la chaleur il perd son eau de cristallisation, et à l'aide de la chaleur il devient opaque. Il est insoluble dans l'eau, même à l'aide de l'ébullition, et s'y dissout facilement au contraire quand elle est légèrement acidulée, même par l'acide le plus faible. Quoique l'analyse n'ait pas été faite de ce sel, il est probable que c'est le phosphate de chaux neutre, dont il possède les principales propriétés : il est à noter que c'est précisément ce phosphate qui se trouve en dissolution dans plusieurs eaux minérales. La théorie de la formation des phosphates à base de chaux, de cuivre et d'ammoniaque, est la même

que pour les produits décrits dans le § II; réaction du phosphate d'ammoniaque sur le sous-nitrate de cuivre, d'où résulte un double phosphate; puis séparation de l'acide nitrique, qui se porte sur le carbonate de chaux, et réaction lente du nitrate de chaux sur le phosphate d'ammoniaque, laquelle produit du phosphate de chaux et du nitrate d'ammoniaque. Dans ces décompositions il se forme aussi du phosphate de cuivre.

1053. Avec l'arséniate d'ammoniaque, le mode d'action est le même, si ce n'est qu'il y a formation d'un double arséniate de chaux et de cuivre qui cristallise en jolis cristaux limpides de plusieurs millimètres de longueur qui sont des prismes obliques à bases trièdres, lesquels deviennent opaques peu à peu en perdant leur eau de cristallisation, et leur surface se recouvre de filaments soyeux, qui annoncent une nouvelle formation. On obtient aussi directement un double arséniate, en faisant réagir une dissolution d'arséniate d'ammoniaque sur du carbonate de chaux; mais sa formation est beaucoup plus lente.

1054. L'oxalate d'ammoniaque et le tungstate d'ammoniaque se comportent comme les sels précédents à l'égard du sous-nitrate de cuivre, et donnent des produits analogues; nous ne nous y arrêterons pas, attendu que notre but est de faire connaître ici les circonstances qui sont nécessaires pour déterminer les formations successives qui donnent naissance à des composés que l'art n'a pu produire jusqu'ici. Nous dirons seulement deux mots de la réaction lente du sous-nitrate de plomb, obtenu avec le nitrate de plomb et le carbonate de chaux, sur le chromate de potasse. Quand on laisse séjourner pendant quelques mois un sous-nitrate ainsi préparé, dans une dissolution de chromate de potasse, étendue d'une ou deux fois son volume d'eau, la surface prend dans quelques parties une teinte rougeâtre, et il se forme insensiblement de petits cristaux très-nets de chromate de plomb rouge, en prismes rhomboïdaux, terminés par des sommets dièdres, comme ceux que l'on trouve à Bérezoff, en Sibérie.

1055. Nous avons vu précédemment comment on pouvait obtenir le carbonate de cuivre par la méthode des doubles décompositions; nous allons montrer maintenant que cette méthode peut être employée également en électro-chimie pour former le même composé.

Prenons un tube recourbé en U, rempli dans sa partie inférieure d'argile humide; mettons dans l'une des branches une solution de bi-carbonate de soude, dans l'autre une solution de sulfate de cuivre, et plongeons dans chacune d'elles l'un des bouts d'une lame de cuivre. Le bi-carbonate, en réagissant d'une part sur le métal et de l'autre sur le sulfate, par l'intermédiaire de l'argile humide, détermine un courant qui rend négatif le bout plongeant dans le sulfate. Ce dernier est décomposé; le cuivre se précipite, il y a transport d'oxigène et d'acide sulfurique de l'autre côté, d'où résultent un double carbonate de cuivre et de soude et du sulfate de soude qui reste dissous. Quand la lame est recouverte de cristaux de double carbonate, on enlève la solution de bi-carbonate et on la remplace par de l'eau. Dans ce cas, il y a encore production d'effets voltaïques, mais leur intensité est moins forte que précédemment; l'oxigène et l'acide sulfurique arrivent du tube négatif; l'un oxide de nouveau le cuivre, l'autre décompose le double carbonate; il y a formation de sulfate de soude, de carbonate de cuivre qui cristallise, et dépôt cristallisé du même composé, qui provient de la décomposition du double carbonate.

On voit sur-le-champ que ce procédé peut être employé dans une foule de cas pour former des composés insolubles.

CHAPITRE IV.

DES ACTIONS LENTES.

§ 1er. *Considérations générales.*

1056. Nous appelons actions lentes, toutes celles qui sont produites dans des corps en contact ou séparés, exposés aux influences des agents atmosphériques ou de différents milieux dans lesquels ils se trouvent plongés, et dont les effets ne sont appréciables qu'après un certain laps de temps. Toutes les forces de la nature concourent à leur production.

Il en est de ces actions comme de la phosphorescence : on n'en a jamais fait l'objet d'une étude spéciale, parce que l'on n'a pas cherché à analyser toutes les forces qui président à leur production.

En chimie, l'on ne s'occupe en général de la réaction de deux corps l'un sur l'autre que lorsqu'il en résulte des composés que l'on peut recueillir peu de temps après, et l'on néglige les effets électriques qui l'accompagnent. Dans cette réaction, lors même qu'elle est très-faible, le corps qui se comporte comme acide prend l'électricité positive, et celui qui agit comme alcali, l'électricité négative. Si l'on recueille ces deux électricités, au moyen d'un autre corps convenablement placé, on a un courant qui agit comme force chimique, non-seulement sur leurs principes constituants, mais encore sur ceux des corps qui les environnent. Il se forme alors une foule de composés dont il n'est pas toujours possible de prévoir *à priori* la nature.

On voit donc que l'électro-chimie disposant de deux forces et la chimie d'une seule, doit arriver quelquefois à des résultats que celle-ci ne peut pas toujours obtenir.

L'exemple suivant caractérise suffisamment la différence qui existe entre la chimie et l'électro-chimie : une lame d'argent plongée dans de l'acide hydrochlorique concentré, hors du contact de l'air, n'en éprouve qu'une action excessivement faible; mais si on la met en contact avec un morceau de charbon bon conducteur, ce dernier s'empare des deux électricités dégagées, et il en résulte un courant électrique qui augmente l'énergie de l'action chimique à un tel point qu'il se dépose peu à peu sur la lame des cristaux de chlorure d'argent qui prennent de l'accroissement avec le temps. L'action continue pendant des années, sans interruption.

On conçoit maintenant pourquoi un grand nombre de substances agglomérées ensemble produisent mille actions de ce genre qui rentrent, jusqu'à un certain point, dans le domaine de l'électro-chimie.

1057. Dans l'état actuel de la science, quoique nous ne puissions expliquer qu'un petit nombre de faits relatifs à ces actions tumultueuses, ce n'est pas un motif pour passer sous silence tous ceux qui ont été observés et dont on n'a pu rendre compte jusqu'ici, attendu qu'ils peuvent servir à provoquer des recherches de la part des personnes qui se livrent à leur étude. Le lecteur ne sera donc pas étonné de voir passer en revue une foule de faits qui n'ont pas encore été considérés comme ayant des rapports directs avec l'électricité.

Indiquons les caractères électriques auxquels on reconnaît qu'une solution agit très-faiblement sur une substance quelconque.

Nous avons déjà prouvé que lorsque deux lames, l'une d'or et l'autre de platine, à surfaces très-nettes, sont en contact, elles ne manifestent aucun effet électrique de tension, ni aucun courant, quand, après les avoir séparées et mises en communication chacune avec l'une des

extrémités d'un multiplicateur, ou les plonge dans un liquide qui ne réagit pas chimiquement sur l'une d'elles. D'un autre côté, nous savons que le contact de l'or ou du platine, avec le peroxide de manganèse, l'anthracite, la plombagine, etc., est accompagné d'effets électriques de tension, bien que ces dernières substances ne paraissent éprouver aucune action appréciable de la part de l'eau distillée.

Examinons la nature des courants qui sont produits, quand ces mêmes substances constituent un circuit fermé avec l'eau distillée et le platine. Supposons que l'on ait fixé à l'une des extrémités du fil d'un multiplicateur un cristal de peroxide de manganèse, d'un centimètre de long et de quelques millimètres de large, et à l'autre une lame de platine ayant les mêmes dimensions; l'aiguille aimantée, aussitôt l'immersion, est déviée plus ou moins de sa position ordinaire d'equilibre, selon la sensibilité de l'appareil, et dans un sens tel que le peroxide prend à l'eau l'électricité positive, comme le fait tout corps qui perd de l'oxigène, ou qui se comporte comme un acide dans sa combinaison avec un autre corps; l'aiguille revient ensuite à zéro quand les oscillations sont terminées. Si l'on interrompt le circuit, sans changer le contact du peroxide ou du platine avec l'eau, et qu'on le rétablisse aussitôt, l'aiguille reste au repos; mais il n'en est plus de même quand l'interruption dure plus de cinq minutes: dans ce cas, elle est déviée d'un certain angle, dont la grandeur dépend du temps pendant lequel le circuit est resté ouvert.

Le circuit ayant été interrompu, enlevons une des chevilles de communication du multiplicateur, retirons le peroxide de l'eau, remettons en place la cheville, puis replongeons le minéral: l'effet sera le même que s'il n'eût pas changé de place. Cet effet se conçoit, puisque la couche d'eau qui adhérait à sa surface n'a pas été enlevée. Quand la décharge a été opérée, on n'obtient plus de courant en retirant de l'eau le peroxide et le replongeant immédiatement; nous disons immédiatement, car

si l'on attend que l'eau qui est à la surface soit évaporée, on a un courant lors de l'immersion.

En général, il ne faut commencer les expériences que lorsque le circuit étant fermé depuis quelque temps, la déviation est nulle.

Les résultats suivants nous indiquent les angles de déviation obtenus dans cinq expériences:

SUBSTANCES soumises à l'expérience.	DURÉE de l'immersion	DÉVIATION de l'aiguille aimantée.
Peroxide de manganèse..+	15 minutes	8°, 50
Platine	30 Idem	12°, 50
Eau —	I heure	15°, 50
	3 Idem	23°, 00
	9 Idem	27°, 00
	24 Idem	28°, 00
Anthracite —	15 minutes	6°, 00
Platine	30 Idem	8°, 50
Eau +	I heure	9°, 00
	3 Idem	9°, 00
Carbone de fer +	15 minutes	8°, 50
Platine	30 Idem	11°, 00
Eau —	I heure	16°, 00
	3 Idem	20°, 00

Des faits précédents nous pouvons conclure, 1° que lorsque le platine, l'eau et une substance minérale conductrice et difficilement altérable par elle, forment un circuit fermé, il se produit une décharge électrique instantanée, analogue à celle que donne la bouteille de Leyde, à l'instant où l'on ferme le circuit; 2° que l'on ne peut obtenir une seconde décharge qu'autant que le circuit reste interrompu pendant quelque temps; 3° que la décharge est d'autant plus intense que le circuit est resté plus longtemps interrompu; 4° que l'accroissement, dans l'intensité de la déviation, a une limite qui est déterminée par la tendance que possèdent les deux électricités

dégagées à franchir la surface du courant, pour reformer du fluide neutre, tendance qui dépend de la conductibilité des corps et des causes qui font varier leurs propriétés électriques. Analysons ce phénomène: l'effet produit ne doit-il pas être attribué à un excès d'électricité libre, dégagée dans la réaction très-lente de l'eau sur le minéral, lequel excès, en raison de sa mauvaise conductibilité, est resté engagé entre ses particules, où il s'est accumulé jusqu'à un certain degré, de manière à produire ensuite une décharge, quand on établit la communication de la manière indiquée? C'est ce que nous ignorons. Tout porte à croire que les deux électricités dégagées se trouvent en équilibre à la surface de contact des deux corps qu'elle ne peut franchir, comme dans le condensateur, où la couche isolante s'oppose à leur recomposition.

1058. Nous voyons bien qu'un minéral suffisamment bon conducteur se charge d'un excès d'électricité libre, qui est dissimulé par l'excès d'électricité contraire que prend l'eau; mais cette dissimulation est-elle complète, surtout dans les corps où la conductibilité n'est pas aussi grande que dans les métaux? Pour le savoir, il faut plonger à moitié dans l'eau un morceau de peroxide de manganèse cristallisé, d'un certain volume, puis le toucher avec les deux bouts du multiplicateur, en divers points, afin de s'assurer si ces points possèdent ou non la même espèce d'électricité. L'expérience prouve qu'en touchant, d'une part, à peu de distance de la surface immergée, et de l'autre dans la partie la plus éloignée, on a un courant dirigé dans un sens tel que celle-ci fournit l'électricité négative. Cet effet doit être attribué à une petite couche d'eau hygrométrique, adhérente à la surface dans la partie inférieure; car on peut obtenir le même effet en appliquant à deux points du minéral, qui ne donnent pas ordinairement de courant, les deux bouts du fil du multiplicateur, dont l'un a été plongé préalablement dans l'eau, puis essuyé. La petite quantité d'eau hygrométrique qui reste suffit pour réagir sur le peroxide de

manganèse, de manière à donner lieu aux effets observés.

1059. Quoique nous reconnaissions une origine purement chimique à l'électricité voltaïque, et que l'eau réagit sur le peroxide de manganèse, pour le changer en hydrate, nous nous demandons quelle est la nature de l'action chimique que l'eau distillée exerce sur la plombagine et surtout sur l'anthracite, dont la force de cohésion est si grande, que cette substance résiste jusqu'à un certain point à l'action du feu? Dans l'impossibilité de répondre à cette question, nous émettons de nouveau l'opinion qu'il peut très-bien se faire qu'il y ait dégagement d'électricité dans le contact de deux corps, quand leur attraction est suffisante pour troubler l'équilibre naturel des molécules en présence, mais non pour vaincre la force de cohésion qui s'oppose à leur combinaison. L'expérience suivante tend à confirmer cette conjecture : prenons une lame d'or et une autre de platine, l'une et l'autre en communication avec le multiplicateur. Plongeons-les dans de l'eau ordinaire : si les deux surfaces sont très-nettes, il n'y a pas de courant; mais en ajoutant quelques gouttes d'acide nitrique, interrompant le circuit et le refermant aussitôt, il en est encore de même, conformément au principe que nous avons établi il y a longtemps, qu'il n'y a jamais de courant électrique continu à moins que l'un des corps ne soit attaqué chimiquement. Au lieu de refermer le circuit immédiatement après, laissons-le ouvert pendant quelques instants, on a alors une déviation de 5 à 6 degrés, produite par une décharge instantanée analogue aux précédentes et dont le sens indique que l'eau, légèrement acidulée, a pris l'électricité positive, comme si l'or avait été attaqué; et cependant la chimie n'admet aucune action de ce genre, parce qu'elle échappe à tous ces moyens d'investigation, à moins cependant que l'acide nitrique ne contienne du gaz nitreux.

1060. Voici encore un autre exemple des effets électriques produits dans les actions chimiques d'une très-

faible intensité : on sait, d'après M. Payen, comme nous le verrons plus loin, que les solutions alcalisées jouissent de la propriété de garantir de toute altération, pendant un temps assez considérable, le fer et la fonte qui y sont plongés. Cela posé, nous avons pris un flacon d'eau distillée, dans lequel on a fait dissoudre $\frac{1}{200}$ de potasse, et l'on a plongé dedans une lame de fer, parfaitement polie, et une lame d'or. A chacune de ces lames on a fixé un fil d'or, passant à travers le bouchon qui fermait le flacon, et que l'on a mastiqué avec tout le soin possible, pour que l'air n'entrât pas dans l'intérieur. Dix-huit mois après, le fer avait conservé son éclat, aucun tubercule ne s'était formé, et tout annonçait qu'il n'avait éprouvé aucune altération appréciable à la vue.

Les deux fils d'or ayant été mis en communication avec un multiplicateur à fil court, on a obtenu une déviation de 35°, et l'aiguille aimantée, après quelques oscillations, est revenue à zéro. En interrompant la communication et la rétablissant aussitôt après, l'aiguille aimantée ne s'est plus déviée. En laissant le circuit ouvert pendant un quart d'heure et le refermant ensuite, l'aiguille a été chassée à 25°. Ce n'est qu'après une interruption d'une demi-heure qu'elle a été déviée de 35°. Voilà donc encore une décharge électrique semblable à celle de la bouteille de Leyde, et qui est analogue aux précédentes; elle nous donne un caractère à l'aide duquel on peut reconnaître des actions chimiques excessivement lentes, dont l'existence ne peut être constatée par aucun des réactifs dont la chimie dispose.

§ II. *De la cémentation en général.*

1061. Quiconque s'est occupé d'étudier les actions lentes qu'éprouvent certains métaux et diverses substances minérales soumis à l'influence journalière des agents atmosphériques ou autres, ne peut s'empêcher de reconnaître qu'elles sont souvent le résultat d'un effet semblable à celui qui détermine dans l'acier la combinaison

du carbone avec le fer. Nous sommes donc forcé, avant de parler de l'altération des métaux, d'exposer notre manière de voir sur la cause qui produit la cémentation.

Les molécules des corps peuvent être soumises à des mouvements d'oscillation qui changent leur position naturelle d'équilibre et constituent alors des formes appartenant à un autre système cristallin, bien que la composition n'ait pas changé. Nous avons cité quelques exemples d'équilibre instable des molécules dans la phosphorescence, en montrant de quelle manière les couleurs des minéraux influaient sur la production de ce phénomène. Ces couleurs, dans les faits que nous avons cités, doivent être attribuées à l'arrangement des particules, puisque des cristaux de spath-fluor, qui étaient devenus blancs par la calcination et qui ne possédaient plus après la phosphorescence, acquéraient des teintes colorées, après avoir été électrisés, et jouissaient pleinement de la faculté d'émettre de la lumière par l'élévation de température (703, 704). Les décharges électriques mettent donc les particules des corps dans un état d'équilibre instable, qui peut être détruit par des causes très-légères, telles que la lumière et une faible chaleur. Une fois qu'il n'existe plus, la phosphorescence cesse, puisque les effets électriques qui accompagnent le mouvement moléculaire n'ont plus lieu.

Il faut donc admettre que les particules des corps peuvent, en oscillant, éprouver des dérangements qui changent quelques-unes de leurs propriétés physiques.

1062. M. Haidinger cite des faits extrêmement curieux, qui viennent à l'appui de ce que nous venons de dire (1). Il a trouvé que certains cristaux peuvent changer de forme en modifiant quelques-unes des circonstances qui président à leur production, sans pour cela que leur composition éprouve des changements. Le sulfate de zinc

(1) Transact. d'Edimbg. T. x.

en est un exemple. Toutes les fois que la solution de ce sel n'est pas assez concentrée pour qu'il se forme une pellicule à la surface, et que la température est maintenue au-dessous de 52° cent., on a des cristaux qui dérivent d'une pyramide à quatre faces scalènes, dont les trois axes sont perpendiculaires entre eux. En maintenant la température à un degré plus élevé, les cristaux dérivent encore d'une pyramide à quatre faces scalènes, dans laquelle l'axe est incliné sur la base. Dans les deux cas, la composition des cristaux est la même.

Si l'on élève la température des cristaux de la première espèce au dessus de 52°, certains points de leur surface deviennent opaques, et l'on voit rayonner de chacun d'eux des cristaux qui appartiennent à la seconde espèce.

On a observé aussi depuis longtemps que lorsque l'arragonite est exposée à la chaleur, elle devient opaque et éclate en mille petits fragments avant de perdre aucune portion de son acide carbonique. Il est très-probable que dans ce cas elle est transformée en spath calcaire, qui occupe un plus grand espace que l'arragonite, dans le rapport de 29 à 27.

1063. On voit donc que les molécules des corps peuvent éprouver un déplacement qui change leur groupement. Cela étant, rien ne s'oppose à ce que pendant que ce déplacement s'effectue, lequel est toujours accompagné d'effets électriques, d'autres molécules étrangères puissent s'interposer entre elles, sans pour cela que le volume primitif du corps change. Nous reviendrons plus tard sur les nombreux exemples de cémentation que nous offre la nature; avant, tâchons d'expliquer comment il peut se faire que l'électricité intervienne dans le mouvement moléculaire que nous venons d'indiquer. Prenons l'exemple de cémentation le plus anciennement connu, celui que nous offre l'acier pendant sa formation. M. le Play pense que le gaz oxide de carbone est l'agent qui pénètre successivement dans le fer, auquel il abandonne une portion de son carbone pour se changer en gaz acide

carbonique, lequel étant expulsé à l'extérieur, se change, dans son contact avec le charbon, en oxide de carbone, qui retourne dans le fer pour continuer la cémentation, et ainsi de suite.

On se demande si lorsque la température du fer est portée au rouge, ses molécules sont assez éloignées pour laisser passer un gaz; si cela était, cet exemple serait peut-être le seul où la cémentation s'opérerait par l'introduction d'un gaz dans l'intérieur du métal, car on peut en citer mille autres qui prouvent que le phénomène se produit à la température ordinaire, et que la combinaison qui en résulte a un tissu tellement serré, qu'il est de toute impossibilité qu'un liquide, ou même un gaz, puisse s'introduire dans l'intérieur. Nous ne prétendons pas du tout infirmer en rien la théorie de M. Play, nous nous bornons seulement à citer des faits qui ne permettent pas de supposer qu'elle soit l'expression vraie de ce qui se passe dans toutes les cémentations. Indiquons comment nous envisageons le phénomène, sans rien préjuger sur la nature des atomes des corps: une foule de faits nous indiquent, comme nous l'avons déjà dit (613), qu'à l'instant où l'action chimique s'exerce entre un acide et un alcali, les particules acides, qui sont toujours environnées d'une certaine quantité de fluide naturel, dépendante de leur nature, perdent l'électricité positive et conservent l'électricité négative, qui fait corps avec elle, tant que dure la combinaison; de même, les particules alcalines conservent leur atmosphère d'électricité positive, dont l'intensité est égale à celle des atmosphères d'électricité négative des particules acides. Quand la combinaison est effectuée, l'action de ces atmosphères se trouve naturellement neutralisée par leur attraction réciproque, laquelle maintient le contact des atomes, ou, pour parler plus exactement, les maintient à une distance constante, quand la température et la pression ne changent pas.

L'existence des atmosphères électriques de l'acier et du carbone est indiquée par la nature des effets élec-

triques qui sont produits lors de la combinaison du fer avec le carbone; l'expérience prouve qu'à l'instant où cette combinaison s'effectue, le carbone prend l'électricité positive et le fer l'électricité négative. Pour démontrer ce fait, on fixe à l'une des extrémités du fil d'un multiplicateur, un morceau de charbon bon conducteur et à l'autre un fil de fer roulé en spirale. Au moyen d'une lampe à alcool, on porte au rouge l'extrémité du charbon ainsi que la spirale, puis on les superpose l'une sur l'autre : on a aussitôt un courant énergique qui va du fer au charbon et dont la direction est la même que celle du courant qui se manifeste dans la combinaison du fer avec l'oxigène ou un acide. Ce courant est dû non-seulement à l'effet thermo-chimique, mais encore à l'action chimique.

Expliquons maintenant comment nous concevons que peut s'effectuer la cémentation, c'est-à-dire cette action en vertu de laquelle des atomes sont transportés dans l'intérieur des corps, à des températures plus ou moins élevées, tandis que d'autres en sont expulsés en même temps. Soient f, f, f, f'', f', f'', fig. 2^e^, deux groupes d'un certain nombre d'atomes de fer; c, c, c, c', c', c', des atomes de carbone, avec lesquels ils se combinent pour produire de l'acier.

Dès l'instant que fc, fc, fc, sont combinés ensemble, f, f, f, sont environnés d'atmosphères d'électricité négative, et c, c, c, d'atmosphères d'électricité positive. Ceci n'est pas une supposition, mais une conséquence rigoureuse des faits. Les atomes fc, fc, fc, doivent se trouver dans un équilibre instable à l'égard de f'', f'', f'' et de c', c', c', attendu que la force d'agrégation qui les unissait à f, f, f, et à c', c', c', doit être très-affaiblie, en raison de la combinaison d'un certain nombre d'atomes de fer avec des atomes de carbone; par suite de cette instabilité, fc, fc, fc, peuvent exécuter certains mouvements oscillatoires autour de leur position d'équilibre; or, dès l'instant que c, c, c, entrent dans la sphère d'activité de f', f', f', et que f, f, f, peuvent rencontrer d'autres atomes de carbone

c', c', c', il en résulte une double combinaison de c, c, c, avec f', f', f', et de f, f, f, avec c', c', c', au moyen de quoi c, c, c, pénètrent dans l'intérieur du fer. En continuant le même raisonnement, on conçoit comment la seconde rangée d'atomes de carbone peut céder la place à une autre qui arrive de l'extérieur, de sorte qu'étant poussée de proche en proche, elle pénètre jusqu'au centre de la masse de fer.

Cette théorie, qui s'applique à tous les genres de cémentation, même à celle qui s'opère à la température ordinaire, repose sur des faits positifs, c'est-à-dire, sur l'instabilité des molécules que les phénomènes de phosphorescence, ainsi que les observations intéressantes de MM. Haidinger et Mitzcherlich, nous prouvent d'une manière incontestable. Nous reviendrons sur un grand nombre de phénomènes de cémentation, lorsque nous aurons exposé les altérations qu'éprouvent les métaux exposés à l'action d'agents atmosphériques ou autres.

§ III. *Des altérations du fer et de la fonte.*

1064. Lorsqu'on met dans une capsule de porcelaine de la limaille de fer, recouverte d'une couche très-mince d'eau, le métal se transforme peu à peu en hydrate de peroxide, tandis que, si la couche est épaisse, il y a en outre formation d'oxide magnétique. La production de cet oxide est due évidemment à la lenteur avec laquelle l'oxigène de l'air est transmis à la limaille. Quelques chimistes pensent que l'eau ne sert que de véhicule à l'oxigène; mais il ne paraît pas en être tout à fait ainsi.

Dès l'instant que quelques points d'oxide se sont formés sur une lame de fer exposée à l'humidité, il en résulte un couple voltaïque entre le métal, l'oxide et l'eau dont l'action accélère l'oxidation. On a avancé que l'eau n'était pas décomposée, parce qu'il ne se dégageait pas d'hydrogène, mais la présence de l'ammoniaque dans la rouille prouve suffisamment que les principes constituants de l'eau ont été séparés, car l'alcali n'a pu être

formé que par la combinaison de l'hydrogène à l'état naissant avec l'azote de l'air. Nous reviendrons sur ce fait, en traitant de la formation spontanée de l'ammoniaque.

1065. On conçoit, d'après ce que nous venons de dire, pourquoi l'on ne trouve que peu d'objets antiques en fer, surtout s'ils ont séjourné dans des endroits humides, car la décomposition une fois commencée à la surface, pénètre jusqu'au centre, par un procédé analogue à la cémentation. C'est ainsi que l'on trouve des masses entières de fer changées en un mélange de fer magnétique et de peroxide, qui renferment quelquefois dans leurs fissures des cristaux d'oxide.

Nous avons trouvé dans les fondations d'un vieux château dont la construction remonte au VIII[e] ou au IX[e] siècle, plusieurs morceaux de fer, de 4 à 5 décimètres de longueur et de 5 centimètres de largeur, presque entièrement décomposés; ils sont transformés en fer hydraté et en fer magnétique; on aperçoit encore des parcelles de fer qui sont à l'état métallique, et quelques portions offrent une texture lamelleuse. Si l'on détache de ces lames avec un instrument tranchant, on trouve que leurs surfaces sont recouvertes de deux espèces de cristaux; les plus apparents, qui ont 1 à 2 millimètres de longueur, ont une couleur jaune de rouille; ils sont aplatis et leur forme dérive de l'octaèdre régulier. Leur poussière est jaune; ils renferment de l'eau de cristallisation, se dissolvent dans les acides et donnent toutes les réactions propres au peroxide de fer hydraté. Sous ces cristaux en sont placés d'autres de fer oligiste irisé qui, vus au microscope, présentent les faces de la variété binoternaire de Haüy; leur aspect est le même que celui des cristaux de l'île d'Elbe.

Les cristaux de peroxide non hydraté et ceux de peroxide hydraté sont à côté les uns des autres. Les premiers résultent-ils de la décomposition du fer hydraté qui se forme toujours quand le fer est exposé à l'action simultanée de l'air et de l'eau, ou bien ont-ils été pro-

duits immédiatement? A l'inspection des lames, il est facile de voir que les cristaux de fer hydraté sont d'une formation postérieure à ceux du fer oligiste, puisqu'ils sont superposés sur ces derniers. Jusqu'ici l'on n'a pu former les cristaux de peroxide de fer anhydre que par le secours de la chaleur. Pourraient-ils être produits également par l'action des courants électriques? C'est une question que nous ne pouvons décider encore; cependant il est probable qu'elle a pu exercer une certaine influence dans l'exemple que nous citons : en effet, il y a production de courant toutes les fois qu'un métal étant en contact avec un de ses oxides, ou un oxide avec un autre oxide, ces corps sont mouillés simultanément par un liquide capable de réagir chimiquement sur l'un d'eux. Tout porte à croire, d'un autre côté, que les lames de fer ont été d'abord changées en oxide magnétique; que les fissures se sont ensuite formées peu à peu à mesure que le métal a changé de volume, et que les cristaux qui tapissent les parois de ces fissures ont été produits postérieurement par la réaction de l'air et de l'eau qui, pénétrant très-lentement entre les fissures, auront réagi sur les portions de fer non encore altérées dont on retrouve des traces en broyant les lames. Les molécules s'étant formées, pour ainsi dire, une à une, rien ne s'est opposé à ce qu'elles prissent un arrangement régulier. Or, les petits couples voltaïques formés par le fer, l'oxide magnétique et l'eau, auront réagi infailliblement sur l'hydrate de peroxide qui se trouvait à l'état naissant, l'eau se sera portée sur le fer et le peroxide sur l'oxide magnétique. Quand tout le fer aura été à peu près recouvert d'oxide, l'action des couples voltaïques sera devenue insensible, et l'hydrate de peroxide aura cristallisé sur le peroxide anhydre ou fer oligiste.

1066. On a remarqué que les alliages de fer et de différents métaux sont beaucoup moins oxidables que le fer; ainsi la force de cohésion l'emporte ici sur l'action voltaïque. C'est pour cela, très-probablement, que le fer météorique, qui renferme du nickel et d'autres métaux, se

conserve à l'air libre sans éprouver d'altération bien sensible. On cite cependant une masse considérable de ce fer, du poids de plusieurs centaines de quintaux, trouvée à Utumpa, dans l'Amérique méridionale, qui était oxidée dans quelques parties. Cette masse était enfoncée, en grande partie, dans un terrain argileux. La surface extérieure était très-compacte, mais en ayant enlevé quelques portions, on trouva l'intérieur rempli de cavités. Au niveau de la terre, là où il existait une humidité continuelle et où devaient se faire sentir davantage les influences atmosphériques, le fer était recouvert d'une couche d'oxide de 6 pouces d'épaisseur.

1067. On a eu souvent l'occasion d'examiner les effets qu'éprouve la fonte qui reste longtemps en contact avec l'eau. On a reconnu que l'acide carbonique contenu dans l'eau dissout le fer et l'entraîne; la masse qui reste est de la plombagine. Aussi les pièces de canon en fonte qui séjournent longtemps dans la mer sont en grande partie converties en une masse poreuse; M. Berzelius rapporte que les canons d'un vaisseau qui avait coulé à fond, cinquante ans auparavant, aux environs de Carlscrone, éprouvèrent ce genre de décomposition. Aussitôt qu'ils furent au contact de l'air, ils s'échauffèrent tellement que l'eau qui restait encore s'échappa sous forme de vapeurs et qu'il fut impossible de les toucher. Ce phénomène est dû à l'absorption de l'oxigène.

M. Hatchette a examiné un morceau de fonte qui était resté plongé longtemps dans l'eau de mer; sa surface était recouverte d'une incrustation d'un pouce d'épaisseur, d'une substance ayant l'apparence de la plombagine; elle était cassante, grasse au toucher et laissait sur le papier une trace noire. Cette substance qui renfermait un peu de chlorure de fer était composée de

Oxide de fer...........	0,81
Plombagine............	0,16

Des ancres et autres objets en fer forgé, placés dans les

mêmes circonstances, n'étaient seulement qu'oxidés à leur surface; il est donc permis de croire que le contact du fer et de la plombagine dans la fonte détermine une action voltaïque qui accélère l'altération de celle-ci.

1068. En général, la fonte exposée aux influences atmosphériques s'altère suivant sa nature : la fonte blanche, qui est très-dure, aigre et cassante, est peu altérable à l'air.

La fonte grise ou noire, qui est tendre, moins aigre et plus poreuse, éprouve plus d'altération, surtout la dernière, à cause du graphite qu'elle renferme, lequel, dans son contact avec la fonte ou le fer, détermine des actions voltaïques.

La fonte truitée, composée des deux précédentes, offre plus de résistance et s'altère moins que la fonte noire. On l'emploie ordinairement pour canons, cylindres et laminoirs.

Les bombes et obus sont en fonte grise tendre, tandis que les boulets, qui doivent offrir plus de résistance, sont en fonte plus avancée, c'est-à-dire, en fonte plus blanche. Tous ces projectiles s'altèrent assez avec le temps pour causer des préjudices sensibles à l'État. Il serait donc important de trouver un moyen simple et économique de garantir de l'oxidation les diverses espèces de fonte. Voyons les tentatives que l'on a faites pour cela.

Les officiers d'artillerie chargés de la surveillance de la fabrication des projectiles et des canons ont remarqué que les fontes obtenues avec le coke pur s'altèrent plus que celles qui sont préparées au charbon, et d'autant moins que le coke renferme plus de charbon. D'où vient cette différence? Nous savons seulement que la première est plus foncée, plus douce et plus favorable à employer pour le moulage que l'autre, ce qui annonce une force de cohésion moins grande et une disposition plus marquée à s'oxider.

On a remarqué aussi, dans diverses usines, que deux fontes provenant de la même matière, mais dont l'une est coulée dans du sable et l'autre dans un moule de fonte,

ne jouissent pas des mêmes propriétés. La première est attaquée plus promptement que la seconde par les agents atmosphériques : dans celle-ci les traces d'oxide sont partielles et plus profondes, tandis que dans l'autre elles sont plus régulières et moins profondes. Cette différence vient de ce que les surfaces ne sont pas dans le même état. Quand elles sont rugueuses, couvertes d'aspérités, l'eau et l'air doivent réagir sur elles avec plus de facilité que lorsqu'elles sont lisses, unies, composées de parties très-serrées, comme nous le prouverons plus loin.

La fonte à canons, par exemple, qui est assez oxidable, ne se rouille qu'aux premières impressions de l'humidité; bientôt après, elle se couvre d'un vernis rouille qui la préserve d'une oxidation nouvelle.

Les fontes obtenues par un moulage fait en sable fin, étuvé et enduit à sa surface d'une couche de charbon de bois tamisé, ne s'oxident que dans les parties cassées ou burinées, et encore l'oxidation s'arrête-t-elle bientôt.

On voit donc qu'il serait possible, par l'opération seule du fondage, de carburer les surfaces des objets en fonte, de manière à les préserver pendant longtemps de l'action de l'eau et de l'air. Si on pouvait les revêtir d'une couche de plombagine, on aurait résolu le problème relatif à la conservation de la fonte.

1069. Dans quelques localités on place des lames de zinc entre deux rangées de projectiles, afin de garantir ces derniers de l'oxidation. Ce moyen ne préserve seulement que les parties de la fonte voisines des points de contact des deux métaux, attendu que l'influence de la force électro-motrice sur la charge de la pile, telle que la concevait Volta, n'existant pas, l'action électro-chimique ne doit pas s'étendre au delà des portions de la fonte qui sont mouillées en même temps que le zinc par le même liquide. Or, ce liquide étant ordinairement l'eau hygrométrique, qui se dépose sur tous les corps, il en résulte que la portion préservée ne doit pas s'étendre au delà de la sphère d'activité de l'action capillaire en vertu de laquelle cette eau est interposée entre les deux métaux.

1070. M. Payen a fait quelques expériences dans le but d'empêcher le fer et la fonte de s'oxider dans l'eau. Ayant observé que l'eau alcalisée, dans laquelle sont plongés des morceaux de fer, garantit ce métal de l'altération, il a cherché à déterminer la limite de ce pouvoir préservateur, afin de découvrir les circonstances les plus favorables à l'altération du fer.

Après un grand nombre d'essais, il a trouvé des mélanges tels d'alcali et de sel, que le fer, loin d'être préservé, s'oxidait au contraire très-rapidement. Un cylindre de fer est préservé longtemps de toute altération, quand il est plongé dans une solution de potasse pure étendue de mille fois son poids d'eau, mais si cette solution a le contact de l'air, l'alcali attirant peu à peu l'acide carbonique, elle perd la propriété préservatrice.

Quand l'eau contient $\frac{2}{100}$ de son volume de solution saturée de carbonate de soude, il se forme des concrétions coniques d'oxide qui restent longtemps brunes-verdâtres à la base, et acquièrent une couleur jaunâtre à leur sommet. Ce qu'il y a de particulier dans ce mode d'altération, c'est que tous les points de la surface du métal ne sont pas également attaqués. L'action commence dans les parties où il existe des solutions de continuité; là, par conséquent, où se déposent des corps étrangers qui constituent un couple voltaïque par leur contact avec le fer et le liquide. Tout le reste de la surface conserve son éclat métallique.

Une solution saturée de sel marin, à l'abri du contact de l'air, ne produit que quelques exubérances d'oxide de fer, tandis qu'au contact de l'air l'oxidation marche comme à l'ordinaire.

Une solution saturée de sel marin et de carbonate de soude jouit de la propriété, même au contact de l'air, de préserver le fer de toute altération; mais il n'en est plus de même lorsque la solution est étendue d'eau.

1071. Diverses expériences ont prouvé à M. Payen que cette différence dans les effets ne provenait pas de ce que les solutions saturées renfermaient moins d'air

que celles qui ne l'étaient pas. Il a montré entre autres que les proportions de bases alcalines capables d'empêcher toute oxidation n'éliminaient qu'une très-faible portion de l'air contenue dans l'eau. Il faut donc chercher une autre cause pour expliquer la faculté préservatrice que possède l'eau alcalisée.

Une solution saturée de sel marin et de sous-carbonate de soude, étendue de 75 fois son volume d'eau de Seine, détermine en moins d'une minute, sur le fer et la fonte, un commencement d'oxidation indiquée par des points d'un vert-pâle qui, en moins de dix minutes, forment des saillies sensibles à l'œil. En appliquant sur la surface un fragment de charbon bien calciné, l'effet est considérablement augmenté en raison de l'action voltaïque, et il résulte de là que la fonte, dans les mêmes circonstances, doit s'altérer plus rapidement que le fer pur.

On voit donc que les solutions qui ont une faible réaction alcaline en présence du sel marin et de l'air, jouissent de la propriété de produire sur le fer et la fonte qui plongent dedans des concrétions locales, pour ainsi dire instantanées, qui préservent le reste de la surface de toute altération; les effets varient suivant les proportions des différents sels, les solutions de continuité et les corps étrangers qui adhèrent aux surfaces.

1072. M. Payen pense que des concrétions semblables se forment dans des tuyaux de fonte comme ceux de Grenoble, où passent des eaux très-légèrement salées et qui ont une faible réaction alcaline, en raison de la présence du carbonate de chaux. Ce qui tend encore à donner de la vraisemblance à cette manière de voir, c'est que dans ces tuyaux il se forme de distance en distance des centres d'action qui préservent le reste de la même manière qu'on l'observe dans les morceaux de fonte soumis à l'expérience.

Si l'on incruste des morceaux de fer dans de la fonte, et même des fragments de fonte dans des plaques en fonte de nature différente, on a des oxidations locales tuberculeuses qui naissent de préférence aux points de contact.

On peut conclure de ces expériences que pour peu qu'il y ait des défauts d'homogénéité dans des tuyaux de fonte, où coulent des eaux légèrement alcalisées et renfermant quelques portions de sels, il se forme des tubercules là où existent les corps étrangers.

1073. M. Payen a cherché aussi à déterminer les circonstances dans lesquelles la fonte blanche, qui est beaucoup moins oxidable, produit le même effet que la fonte grise. Ayant préparé une solution saturée de carbonate de soude et de chlorure de sodium, à la température de 15° centésimaux, il a reconnu qu'en la mêlant avec 100 et jusqu'à 200 volumes d'eau distillée, tous les liquides compris entre ces limites produisent, sur la fonte blanche, des oxidations évidemment plus tuberculeuses et mieux localisées que sur les autres espèces de fonte. Ces dernières présentent plus de points facilement attaquables et produisent des tubercules plus nombreux et par conséquent moins distincts. On voit donc que la fonte blanche, qui est moins oxidable par certaines eaux minérales, paraît mériter la préférence sur la fonte grise pour les tuyaux de conduite.

1074. Si l'on se reporte aux effets électriques que nous avons signalés précédemment (1059), on peut expliquer jusqu'à un certain point la propriété que possède la potasse de préserver le fer. Lorsque le fer est en contact avec de l'eau alcalisée, le métal prend peu à peu une charge d'électricité négative et l'eau une charge d'électricité positive. Ces deux électricités, malgré leur action attractive réciproque, restent en équilibre à la surface de contact qu'elles ne peuvent franchir. Il résulte de là que le fer étant constamment négatif, se trouve dans l'état le plus favorable pour repousser l'oxigène de l'air qui se trouve dans la solution. Comment se fait-il qu'en ajoutant une petite quantité d'eau salée à l'eau alcalisée, on n'ait plus de décharge instantanée, mais bien un courant continu, qui annonce que le fer est attaqué avec une certaine énergie? Cet effet vient en partie d'une meilleure conductibilité dans le liquide et de ce que les éléments du

sel marin étant séparés par l'influence des états électriques du fer et de l'eau alcalisée, activent l'action chimique.

§ IV. *Altérations du cuivre.*

1075. Le cuivre ne décompose pas l'eau, mais au contact de l'air et de ce liquide, il s'oxide et se combine avec l'acide carbonique ambiant, bien entendu que, par suite d'effets voltaïques, l'action est d'autant plus prompte que le métal est en contact avec des corps moins oxidables que lui.

La surface du cuivre se recouvre, à une légère chaleur, d'une couche de protoxide qui préserve l'intérieur de l'altération. Aussi emploie-t-on ce moyen pour garantir le cuivre de l'action simultanée de l'air et de l'eau.

1076. Le protoxide de cuivre cristallise aussi bien par l'effet des actions lentes que par celui de forces électriques (530).

M. John Davy est parvenu à les obtenir en n'employant que les affinités; mais il est facile de montrer que leur production, dans ce cas, est due à l'action des forces électiques. Cet habile chimiste ayant versé 6 gouttes des acides sulfurique, hydrochlorique et nitrique, dans 6 onces d'eau distillée, 3 fioles furent remplies exactement de ces mélanges, dans lesquels plongeaient des lames de cuivre polies, puis fermées hermétiquement. 69 jours après, il observa les résultats suivants : l'eau qui renfermait l'acide sulfurique était incolore, mais elle acquérait une faible teinte bleue par l'addition de l'ammoniaque. La lame de cuivre était légèrement ternie çà et là par l'oxide noir de cuivre. L'eau acidulée par l'acide hydrochlorique donna des résultats semblables. Il n'en fut pas de même de l'eau acidulée par de l'acide nitrique : elle avait acquis une couleur bleue brillante, et le métal s'était recouvert d'une couche très-légère d'oxide de cuivre, faiblement adhérente. Les fioles ayant été fermées imparfaitement, les résultats furent différents. 8 mois après,

l'eau acidulée par l'acide sulfurique était saturée de cuivre et la lame recouverte d'une légère croûte d'oxide noir de cuivre, uniformément répartie, excepté la partie supérieure qui était plus corrodée que le reste. La solution où se trouvait l'acide nitrique était également saturée de cuivre; l'extrémité supérieure de la lame, située au-dessus de la dissolution et qui était encore humide, était recouverte d'un dépôt assez considérable de cristaux de protoxide de cuivre, de sous-nitrate et d'une très-petite quantité de cuivre à l'état métallique. Rien n'est plus simple que d'expliquer ces diverses formations, en s'appuyant sur les principes électro-chimiques : la partie supérieure de la solution, qui est la plus rapprochée de l'air, est naturellement plus saturée que celle qui est au-dessous, puisque le cuivre est oxidé immédiatement par l'oxigène de l'air; dès lors, comme dans l'expérience déjà citée (530), la lame de cuivre se trouvant plongée en même temps dans deux solutions à différents degrés de saturation, la portion qui est dans la solution la plus saturée se trouve être le pôle négatif d'un couple voltaïque, attendu que celle qui est la moins saturée prend à l'autre l'électricité négative, qu'elle transmet à la lame. Il est donc tout naturel que le protoxide de cuivre et même le cuivre métallique se déposent au haut de la lame. Le cuivre ne doit se montrer, comme dans les expériences électro-chimiques, que lorsque la différence entre la densité des deux solutions est la plus grande.

1077. Nous devons examiner actuellement les altérations que le cuivre et ses alliages éprouvent dans la suite des temps de la part des agents atmosphériques et des substances avec lesquelles ils sont en contact.

M. John Davy a consigné dans les *Transactions philosophiques* pour 1826 quelques observations intéressantes sur les altérations que des alliages de cuivre ont éprouvées dans la mer, depuis un certain nombre de siècles. Le premier alliage soumis à ses investigations était un casque en bronze, de forme antique grecque, qui

a été découvert dans la partie basse de la mer, entre la citadelle de Corfou et le village de Castrade. Il renfermait 18 pour cent d'étain. Sa surface était recouverte d'une couche de carbonate de chaux et de coquilles. Sous l'incrustation, le métal présentait des couleurs variées, mêlées de taches vertes, blanches sales et rouges. Les taches vertes et rouges avaient une structure cristalline, particulièrement les dernières qui étaient formées d'octaèdres de protoxide de cuivre et de cuivre métallique. Les taches vertes étaient principalement formées de carbonate et de sous-chlorure de cuivre, et la partie blanche composée presque entièrement d'oxide d'étain. En général, ces produits n'étaient que superficiels, car au-dessous de l'incrustation et de la rouille, l'alliage avait conservé tout son brillant métallique.

M. John Davy a trouvé des formations analogues sur un clou antique et un miroir trouvés, l'un dans un tombeau à Athènes, l'autre dans un tombeau à Samos. Les monnaies antiques qu'il a observées présentaient les altérations suivantes : D'abord des incrustations très-pâles, formées d'un mélange de vert et de parties blanches, qui contenaient une grande proportion d'oxide d'étain, peu de carbonate et de sous-chlorure de cuivre, puis des incrustations noires dues à la prédominance de l'oxide noir de cuivre. Les monnaies qui présentaient ce genre d'altération renfermaient très-peu d'étain.

Les incrustations vert bleuâtre consistaient principalement en carbonate de cuivre, mélangé quelquefois d'une petite portion d'oxide.

Les incrustations vert émeraude abondaient surtout en sous-chlorure de cuivre, et celles qui étaient rouges ne renfermaient presque entièrement que du protoxide de cuivre.

Il était naturel d'examiner s'il n'y avait pas des rapports entre la composition chimique des incrustations des anciennes monnaies et leur contexture. Quelques-unes étaient remarquablement unies, comme si elles avaient été polies, conservant parfaitement l'impression

originale de l'empreinte, tandis que d'autres étaient rongées et déformées.

M. John Davy attribue cette différence à la rapidité plus ou moins grande de la cause minéralisante.

Ce chimiste se demande comment ont été formés les cristaux, particulièrement ceux qui recouvraient le casque et qui adhéraient au dépôt calcaire. Il ne pense pas qu'ils aient été déposés par une solution.

Nous ajouterons à ces observations d'autres qui nous sont propres, qui pourront servir à jeter quelque jour sur un grand nombre de produits qui se forment par cémentation. Nous possédons des médailles grecques et romaines, jadis en bronze, changées entièrement en protoxide, sans que leurs formes aient été modifiées; seulement leur volume est plus considérable, la texture est excessivement serrée, et rien ne peut faire supposer qu'une solution ait pu s'introduire de l'extérieur à l'intérieur, pour transporter de l'oxigène au cuivre et enlever l'étain avec lequel il était combiné. Quelques-unes de ces médailles renferment des cavités, tapissées de cristaux de protoxide d'une grande netteté. D'autres, qui sont transformées en protoxide, présentent dans quelques parties des petits tubercules et même des cristaux de cuivre carbonaté vert (malachite) et de cuivre carbonaté bleu à côté des premiers. Enfin sur d'autres médailles on observe du cuivre noir, ayant un aspect cristallin.

Nous possédons aussi une lampe antique, recouverte d'une couche de carbonate de cuivre et de carbonate de chaux sous laquelle se trouvent, comme sur le casque antique de M. Davy, des cristaux de protoxide de la plus grande beauté, ayant un millimètre de côté.

Les monnaies changées entièrement en protoxide ne permettent pas de douter un seul instant que l'oxigène n'ait été transporté de l'extérieur à l'intérieur, par un effet semblable à celui qui produit la cémentation. Ce phénomène ne peut être que le résultat d'un mouvement moléculaire, puisque l'on ne peut supposer qu'une dissolution ait pénétré dans l'intérieur.

Nous avons déjà exprimé notre opinion sur la manière dont nous concevons la cémentation, en lui attribuant une origine électrique (1061), ainsi nous n'y reviendrons pas.

Quant à la présence des cristaux de protoxide de cuivre sous la croûte, composée de substances diverses, qui recouvrent quelques objets antiques en bronze, et qui tapissent les petites géodes que l'on trouve dans l'intérieur des médailles, on ne peut guère attribuer leur formation au mouvement moléculaire dont nous venons de parler.

Les notions que nous possédons sur les circonstances de leur production nous mettent à même de concevoir comment ils se trouvent déposés sur les objets antiques : la croûte qui recouvre ces objets une fois formée, le liquide placé au-dessous, ne communiquant que difficilement avec celui qui est à l'extérieur, a dû se saturer davantage de sels de cuivre. D'un autre côté, les portions sur lesquelles il ne s'est pas formé d'incrustation ont continué à être soumises à l'action des agents extérieurs. Il est résulté de là que l'électricité négative provenant de cette dernière action a été repoussée dans l'intérieur, de manière que la portion située sous la croûte qui n'était pas soumise à une action aussi forte que celle qui était à l'extérieur, est devenue le pôle négatif d'un couple voltaïque qui a réagi sur la dissolution enchâssée. Suivant l'intensité de cette action et le degré de concentration de la solution, on aura eu des cristaux de protoxide de cuivre ou de cuivre à l'état métallique.

Nous ferons remarquer que les altérations qu'éprouvent, en général, les médailles dépendent de la nature des terrains dans lesquels elles ont longtemps séjourné. Tous les antiquaires savent que dans les terrains volcaniques elles sont vert-émeraude; c'est le sous-chlorure de cuivre qui domine. Dans le royaume de Naples, loin du Vésuve, elles sont bleues; c'est alors le carbonate qui les colore. Dans les Marais Pontins, elles sont jaunes; du côté d'Agrigente, elles sont blanchâtres. Nous ne

possédons malheureusement que des renseignements généraux à cet égard. Il serait important, quand on trouve des médailles présentant des altérations bien prononcées, d'observer les circonstances locales qui ont pu les déterminer.

1078. L'altération du cuivre qui séjourne dans la mer est importante à examiner, à cause du doublage des vaisseaux qui est fait avec des lames de ce métal. Le dommage est tel pour l'État, que l'on a cherché les moyens d'y parer. Aussi est-ce un motif pour nous de traiter cette question aussi complétement qu'il est possible de le faire dans l'état actuel de la science. Nous indiquerons ensuite l'alliage qu'on a substitué au cuivre, comme étant moins destructible que lui.

§ V. *Des essais tentés pour préserver le doublage en cuivre des vaisseaux de l'action corrosive de l'eau de mer.*

1079. Davy est le premier qui ait fait des expériences sur l'application des combinaisons électriques à la conservation du doublage de cuivre des vaisseaux et à d'autres objets en métal. Nous allons essayer d'en donner ici une idée.

Lorsqu'on laisse un morceau de cuivre poli dans de l'eau de mer, la surface du métal se recouvre, dans l'espace de 2 ou 3 heures, d'une ternissure jaune, tandis que l'eau environnante se recouvre d'un léger nuage, dont la couleur, d'abord blanche, devient graduellement verte. Dans l'espace d'un jour, il se dépose au fond du vase un précipité vert-bleuâtre, qui va toujours en augmentant, en même temps que la surface du cuivre se corrode. Ce précipité paraît rouge dans l'eau, et d'un vert d'herbe quand il en est dehors. Du carbonate de soude se dépose sur cette matière d'un vert d'herbe. Ces changements continuent jusqu'à ce que l'eau soit devenue moins saline. Le précipité vert est formé de sous-chlorure d'hydrate de cuivre et d'hydrate de magnésie.

Ces effets sont dus à la présence de l'oxigène dans l'eau de mer, comme on le prouve aisément en opérant dans de l'eau de mer privée d'air; dans ce cas il n'y a aucun effet de produit. Le cuivre étant moins oxidable que le fer, il s'ensuit qu'en mettant ces deux métaux en contact, le premier deviendra négatif par rapport au second, et se trouvera par conséquent dans l'état électrique le moins favorable pour se combiner avec l'oxigène contenu dans l'eau de mer.

Davy ayant pris de l'eau de mer rendue légèrement acidulée par de l'acide sulfurique, y plongea un morceau de cuivre poli, auquel était soudé un morceau d'étain dont la surface était le 20^e^ de celle du cuivre. Examinée 3 jours après, celle-ci était très-nette, tandis que l'étain avait été corrodé; on n'aperçut même aucune teinte bleuâtre indiquant la présence du cuivre; il en fut encore de même, en diminuant successivement les proportions de l'étain, jusqu'à ce qu'il n'y en eût plus qu'un 200^e^. Il obtint les mêmes effets avec le zinc, le fer ou la fonte, à quelque légère différence près. Le zinc produisit un faible nuage blanc, qui se précipita promptement au fond du vase, et le fer donna lieu à un précipité rouge foncé. Quelques semaines après, on ne trouva aucune trace de cuivre dans l'eau.

Dans le cours de ces expériences, Davy trouva qu'un morceau de zinc, gros comme un pois ou la tête d'un petit clou de fer, suffisait pour garantir 40 ou 50 pouces de cuivre, et cela en quelque endroit qu'il fût placé. Ayant pris un morceau d'un clou de fer, long à peu près d'un pouce, il le lia par un bout, au moyen d'un fil de cuivre d'un pied de long, à une feuille de cuivre de 40 pouces carrés : le tout fut plongé dans de l'eau de mer. Après une semaine, le cuivre avait été parfaitement garanti. Un petit morceau de zinc ayant été fixé au haut d'un morceau de cuivre, et un morceau de fer beaucoup plus gros placé en bas, le tout mis dans de l'eau de mer, non-seulement le cuivre fut préservé des deux côtés, mais même le fer, et après une dizaine de jours, le poli

du cuivre n'était pas altéré ainsi que celui du fer.

1080. Davy voulut appliquer les observations précédentes à la préservation du cuivre qui forme le doublage des vaisseaux.

Des feuilles de cuivre en contact, sur $\frac{1}{40}$ $\frac{1}{1000}$ de leur surface, avec du zinc, du fer ou de la fonte, ayant été exposées pendant plusieurs semaines au mouvement de la marée, dans le port de Portsmouth, et leur poids déterminé avant et après l'expérience, on trouva que lorsque le protecteur métallique avait une surface de $\frac{1}{40}$ à $\frac{1}{150}$ des feuilles de cuivre, il n'y avait ni corrosion, ni diminution dans le poids de ce métal. Quand le métal préservateur n'était que dans la proportion de $\frac{1}{200}$ à $\frac{1}{400}$, le cuivre éprouvait une perte de poids qui était d'autant plus forte que le protecteur était plus petit. En employant $\frac{1}{1000}$ de fer fondu, on préservait encore une certaine quantité de cuivre.

Si l'on compare le doublage des bâtiments protégés à celui de bâtiments semblables qui ne le sont pas, on trouve que la surface du premier est brillante, tandis que celle du second éprouve une corrosion rapide; celle-ci devient d'abord rouge, ensuite verte, et perd une partie de sa substance en écailles.

Davy conseilla de préférer la fonte aux autres métaux oxidables, en raison de son bas prix et de sa durée; la plombagine qui se produit à sa surface par l'action de l'eau de la mer n'altère point sa première forme, et n'empêche pas l'action électrique du métal qui reste.

Voilà donc un moyen très-simple de préserver de toute altération le doublage en cuivre des vaisseaux; mais on devait s'attendre à un inconvénient grave que nous allons signaler, et qui résulte de l'action chimique du couple voltaïque sur les substances dissoutes dans l'eau de mer. On ne tarda pas à observer qu'il se déposait des substances alcalines et terreuses sur le cuivre négatif. Quatre feuilles de cuivre, défendues à peu près sur $\frac{1}{35}$ à $\frac{1}{80}$ de leur surface par du zinc ou du fer, avaient été exposées pendant 4 mois à l'action de l'eau de mer;

ces feuilles furent recouvertes d'une matière blanche, composée principalement de carbonate de chaux, de carbonate et d'hydrate de magnésie.

1081. En mer, les feuilles de cuivre préservées des bâtiments se sont également recouvertes de carbonate de chaux et de carbonate de magnésie; des plantes et des insectes s'y sont aussitôt rassemblés : dès lors le poids des bâtiments a été augmenté et leur marche ralentie. Davy, pour parer à cet inconvénient majeur, a fait diverses expériences, d'après lesquelles il a cru devoir conclure que des feuilles de cuivre, défendues par des surfaces de fonte ou de zinc dans la proportion de $\frac{1}{150}$, ne se chargeaient pas de matières alcalines et que les plantes n'y adhéraient pas. Cet effet, suivant lui, est dû à ce que le cuivre était moins négatif; nous ne partageons pas son opinion à son égard, parce que nous n'admettons pas l'action électro-motrice telle qu'il la concevait. Le fer ne garantit le cuivre que jusqu'à la limite où peuvent s'étendre les courants électriques produits dans la réaction de l'eau de mer sur l'un des deux métaux; aussi le métal est-il d'autant moins préservé que l'on s'éloigne davantage des points de contact des deux métaux.

Quoi qu'il en soit, la surface du cuivre étant restée parfaitement claire dans cette circonstance, Davy en a conclu que l'application d'une très-petite quantité de métal oxidable serait plus avantageuse que celle d'une plus grande quantité. On aurait besoin de faire de nouvelles expériences pour confirmer ce fait.

Davy a encore reconnu que de faibles solutions de sel agissent fortement sur le cuivre, tandis que de fortes solutions, comme la saumure, ne l'attaquent point. Il attribue cette différence d'effet à ce que cette dernière renferme peu ou point d'air.

1082. Lorsque le cuivre, armé avec de la fonte de fer, est placé dans un vase à moitié plein d'eau de mer et ayant ses surfaces partiellement au-dessus de la surface de l'eau, il se recouvre de carbonate de soude, de

carbonate de chaux et de carbonate de magnésie. Le carbonate de soude s'accumule graduellement jusqu'à ce que toute la surface exposée à l'air soit recouverte de ces cristaux. En plaçant le fer dans un vase, le cuivre formant arc avec lui dans un autre, et en plaçant un vase intermédiaire également rempli d'eau de mer, et en rapport électrique au moyen d'une mèche de coton, on trouve que l'eau du vase intermédiaire devient peu à peu moins saline, par suite de la réaction du courant sur les sels dissous dans l'eau.

M. Pepys a profité du principe de Davy pour garantir de l'action de l'air humide des instruments en acier renfermés dans des cases doublées de zinc.

§ VI. *Résultats des expériences comparatives faites sur le doublage en cuivre et en bronze des vaisseaux.*

1083. Dès l'instant qu'il fut démontré que le doublage en cuivre préservé augmentait peu à peu le poids du bâtiment, de manière à retarder sa marche, on chercha à arriver au même but, tout en évitant une partie de ces inconvénients, et pour cela on prit le bronze, composé de 94 parties de cuivre et de 6 d'étain. Les molécules de cet alliage pouvant être considérées comme autant de petits couples voltaïques, l'eau de mer tend encore à enlever l'étain; mais comme la force de cohésion est plus grande que celle du cuivre, il en résulte que, théoriquement parlant, le bronze doit être moins promptement altéré que lui par l'eau de mer. Une difficulté s'est présentée de suite quand on a voulu l'employer, c'est le laminage, en raison de sa dureté et de sa fragilité. M. Francfort est parvenu à la vaincre. Sur sa demande, le ministre de la marine française a ordonné des essais, dont nous allons rendre compte avec tous les détails que comporte l'importance du sujet.

1084. On a appliqué, sur un côté de la carène du cutter le *Renard*, des feuilles numérotées de bronze,

et de l'autre côté, des feuilles de cuivre rouge non préservées; les unes et les autres ont été posées sur une couche de feutre et fixées avec des clous fondus. Toutes les feuilles étaient de même dimension et avaient été pesées avec soin. La dépense des deux doublages était sensiblement la même.

Après 3 mois 13 jours d'amarrage dans le port de Cherbourg et 3 mois 10 jours de navigation, MM. Bretocq, directeur des constructions navales, et Rigaud de Genouilly, ingénieur de la marine (1), procédèrent à la visite des feuilles : elles furent levées avec soin, puis nettoyées et dépouillées de la couche de sous-chlorure qui les recouvrait. Les feuilles de cuivre placées du côté de tribord avaient perdu 1323 grammes, et celles de bâbord en bronze 751 seulement. Le cuivre avait donc perdu, comparativement au bronze, dans le rapport de 7 à 4 à peu près. On a remarqué que les feuilles qui présentaient des parties saillantes avaient éprouvé dans ces mêmes parties une destruction tellement prompte, qu'elles étaient souvent percées avant d'avoir perdu une partie notable de leur poids.

M. Robert, sous-ingénieur, constata, quatorze mois après, les résultats suivants (2) :

Le *Renard* étant rentré à Cherbourg, après une nouvelle campagne de 7 mois, la pesée des mêmes feuilles d'épreuve présenta une perte de 2150 grammes pour le cuivre et 920 pour le bronze, ce qui indique pour le premier une détérioration plus grande que dans le second, dans le rapport de 2,35 à 1. Pour la durée totale de l'épreuve, les pertes respectives sont de 3477 grammes, d'une part, et de l'autre 1671, nombres qui sont dans le rapport de 2,1 à 1. Le bronze a donc présenté des avantages marqués.

Nous avons dit, en rapportant les expériences de Da-

---

(1) Annal. marit., t. XLV, p. 142.
(2) Annal. marit., t. XLV, p. 142.

vy, que le cuivre devenu négatif se recouvrait de carbonate de chaux et de carbonate de magnésie, de coquillages et de plantes marines, par suite de l'action du couple voltaique sur les sels tenus en dissolution dans l'eau de mer. M. Robert fait observer à cet égard que les doublages en plomb, en alliage de plomb et d'antimoine, en zinc, présentent des effets semblables, et cependant ces métaux ne sont pas protégés; il semblerait, d'après cela, que l'adhérence des mollusques sur ces métaux est due à la couche produite par l'action de l'eau de mer, laquelle constitue alors l'élément électro-négatif. M. Robert a remarqué que lorsqu'une lame de cuivre est exposée pendant longtemps à l'action de l'eau de mer, il se forme à l'extérieur du sous-chlorure de cuivre verdâtre, et au-dessous de l'oxide de cuivre, sûrement du protoxide, qui est rouge-brun. Cet effet est facile à expliquer. La partie de la lame qui est en dehors de l'eau et celle qui est plongée dedans ne sont pas attaquées également; dès lors la lame forme à elle seule un couple voltaïque. La partie du métal qui est en contact avec la surface du liquide est plus attaquée; il doit donc se déposer des sels à base de cuivre qui, étant soumis à l'action voltaique, sont décomposés, et la partie immergée se recouvre de protoxide de cuivre; c'est une expérience qui a été faite par M. John Davy.

Il a observé aussi que, dans les cuivres protégés, le sous-chlorure est adhérent, circonstance qui permet aux coquillages de s'y fixer.

1085. On a constaté encore, après 7 mois de navigation (1), que le cuivre avait perdu 2209 grammes et le bronze 1182, rapport 1,87.

1086. M. Robert fut chargé de nouveau, après 3 mois et demi de navigation, de faire un rapport sur l'état du doublage du même bâtiment. La partie en cuivre commençait à donner des marques de vétusté, tandis que le bronze n'offrait rien de semblable. Le cuivre avait perdu 1450 grammes et le bronze 642, rapport 2,41 qui est

(1) Annal. marit., t. XLV, p. 229.

le plus avantageux qu'on ait encore obtenu. Pour la durée totale des expériences, les 9 feuilles de cuivre avaient perdu 10,885 grammes, celles de bronze 5,073; ce qui donne pour rapport moyen 2,14.

Deux autres épreuves, sur le même bâtiment, ont conduit à peu près au même résultat.

1087. Pendant que le gouvernement français faisait faire des essais sur le doublage en bronze, M. Brunel, en Angleterre, se livrait à des investigations du même genre. Voici les résultats d'une expérience comparative sur le doublage en bronze et en cuivre faite par lui sur le paquebot le *Frolic*. Ce paquebot a parcouru des mers chaudes dans un voyage au Brésil, dans un autre à Malte et aux colonies. Après 17 mois de navigation, ce bâtiment a été inspecté le 10 novembre 1832, à Plymouth, en présence du chef des contributions de ce port, de MM. Robert et Francfort. La surface du cuivre n'était pas très-propre et très-unie, celle du bronze était noire et très-rugueuse; état que l'on a attribué à des causes accidentelles. Attendu que les feuilles de bronze étaient pailleuses, les pailles en se relevant et en se détachant avaient donné au bronze un aspect sale et rugueux.

A l'égard de la détermination de la perte du bronze et du cuivre, comme on n'avait pas préalablement pesé les feuilles appliquées au doublage du *Frolic*, on a été obligé d'avoir recours à 30 feuilles qui restaient en magasin; on les a pesées avec soin et on a trouvé 9 livres 3 onces 2 pour le poids moyen d'une feuille de bronze. La pesée d'un même nombre de feuilles de cuivre a donné 9 livres 5 onces 33 pour les feuilles de 32 onces au pied carré, et 8 livres 2 onces 66 pour celles de 28 onces au pied carré.

C'est sur ces données qu'on a procédé au pesage de 19 feuilles de bronze et d'autant de feuilles de cuivre placées symétriquement des deux côtés du bâtiment. On a trouvé que les pertes éprouvées sur les 19 feuilles de bronze et autant de feuilles de cuivre étaient dans le rapport de 1 à 1,75.

En comparant les résultats des expériences faites sur le *Renard*, aux mêmes poids et conditions que nous les avons présentées relativement au *Frolic*, on trouve que le bronze a perdu 4 onces 1$^{gr.}$, et le cuivre 9 onces 3$^{gr.}$ par pied de surface; ce qui donne une proportion de 1 à 2,22. On voit donc que le résultat de l'examen fait à Plymouth confirme complétement le résultat des rapports faits à l'égard du *Renard*, non-seulement sur la longue durée du bronze comparé au cuivre, mais encore sur les qualités nautiques qui auraient pu laisser quelque incertitude si le *Frolic* n'avait pas navigué exclusivement dans les mers chaudes.

Ces expériences ne sont pas les seules qui aient été faites pour comparer la durée du doûblage en bronze à celle du doublage en cuivre. Nous allons rapporter les résultats de celles qui ont été faites sur d'autres bâtiments de l'État et du commerce.

1088. Le gouvernement français désirant avoir une solution complète du doublage, ordonna de nouvelles expériences.

M. Leroux, ingénieur à Cherbourg, fut chargé d'examiner, après deux ans de séjour dans l'eau de mer, le doublage moitié cuivre, moitié bronze de la corvette l'*Ariane*. Il résulte de cet examen que le dépérissement du cuivre plongé est exprimé par le rapport $\frac{31}{1000}$ et par $\frac{29}{1000}$ pour le bronze, et que la différence de déchet moyen par feuille est exprimée par 0 kil. 017 à l'avantage du bronze.

L'avantage obtenu par le bronze sur le cuivre, au bout de deux ans de séjour dans une mer tranquille, est si peu marqué, qu'on a lieu d'être surpris de la différence considérable qui existe entre les résultats obtenus à 7 reprises différentes sur le *Renard* et confirmés sur le *Frolic* et celui signalé par M. Leroux. Cet habile ingénieur, en rendant compte de cette différence, fait observer quil pourrait bien se faire que le dépérissement occasionné par le frottement à la mer modifiât les rapports obtenus dans une marche plus rapide, en raison

de la plus grande rigidité du bronze sur le cuivre pur.

1089. Sur cette même corvette, qui avait échoué dans le bassin du port de Toulon, le 20 mars 1834, c'est-à-dire, environ 20 mois après l'examen qui avait été fait par M. Leroux, M. Campaignac, ingénieur de la marine (1), a reconnu que le bâbord de la carène, doublé en bronze, était d'un aspect plus sale et présentait une plus grande quantité de plantes marines que le côté de tribord, doublé en cuivre. La cassure de bronze avait de la tendance en général à s'exfolier, ce qui n'avait pas lieu dans le cuivre rouge. Plusieurs feuilles de cuivre furent enlevées ainsi que celles de bronze correspondantes, pour être pesées après avoir été nettoyées. On trouva, comme précédemment, que le cuivre rouge se trouvait avoir un léger avantage sur le bronze.

1090. De nouvelles expériences furent ordonnées par le ministre de la marine, qui engagea en même temps le commerce à en faire de son côté, pour savoir à quoi s'en tenir sur les résultats contradictoires obtenus sur le *Renard* et l'*Ariane*.

Le brick le *Bisson* fut doublé, le 9 juin 1831, en cuivre rouge sur le côté de tribord, et en bronze sur le côté de bâbord. Les 23 et 24 avril 1833, on donna à ce bâtiment une demi-bande, successivement de chaque côté, de manière à découvrir à peu près les deux rangées supérieures des feuilles de doublage, situées au-dessous de la ligne de flottaison. Le bronze parut partout en bon état de conservation, dépourvu de coquillages et de végétation; il était seulement recouvert d'une couche assez épaisse de limon mêlé aux matières salines ou oxidées, provenant de l'action de l'eau de mer sur le métal. On enleva facilement, au moyen du lavage, la couche de dépôt la plus superficielle, sans entamer la croûte inférieure, qui était plus tenace et de couleur verdâtre. Six feuilles de bronze ayant été détachées, on aperçut un

(1) Annal. maritimes, t. LIII, p. 575.

petit nombre de parties isolées, où cette matière verdâtre reposait sur une couche friable de couleur rouge brun de protoxide de cuivre; en frappant avec un maillet, on fit tomber la couche verdâtre; en général, la couche intermédiaire n'existait pas; mais alors la couche verdâtre était tellement adhérente au métal que l'on avait de la peine à l'enlever. Les feuilles de cuivre correspondantes, placées à tribord, avaient une apparence moins limoneuse et étaient dépourvues également de coquillages et de végétaux; elles étaient toutes percées d'un bout du bâtiment à l'autre; ces perforations ne présentaient aucune des apparences qui pouvaient les faire attribuer à une déchirure ou à un frottement. Les pesées des deux espèces de feuilles ont montré d'abord que les 6 feuilles de cuivre avaient été corrodées au point d'être hors de service au bout de 22 mois et demi de séjour dans le port, bien qu'elles n'eussent éprouvé aucune faible perte absolue; il paraîtrait donc que l'action corrosive de l'eau de mer n'avait agi que sur des endroits isolés du métal, qui avait conservé presque toute son épaisseur primitive autour de chaque perforation. Les poids moyens des douze feuilles ont été trouvés sensiblement les mêmes.

1091. Un nouvel examen fut fait, le 13 mai 1834, sur le même bâtiment, ainsi que sur le porte-bateau du bassin. M. Thomeuf reconnut que les surfaces des deux métaux ne présentaient ni coquillages, ni la moindre tache de végétation; qu'elles étaient seulement recouvertes d'une légère couche limoneuse, extrêmement molle, qu'on a enlevée facilement au moyen du lavage. La surface de cuivre était recouverte d'une couleur rouge brun, tandis que la surface du second ne présentait que çà et là une couleur verdâtre.

Dans les expériences faites à Cherbourg sur le *Renard*, le rapport de la détérioration du cuivre à celle du bronze a peu varié, puisque la moyenne a été de 2,20. Les épreuves faites à Lorient, sur le porte-bateau, fixent ce rapport à 2,04, nombre qui s'éloigne peu du précédent.

Sur le brick le *Bisson*, ce rapport n'a été que de 0,6.

1092. Nous venons de voir que sur ce bâtiment on avait constaté qu'après 22 mois et demi de séjour à flot dans le port, la plupart des feuilles de cuivre, voisines de la ligne de flottaison, qui avaient été immergées, étaient persillées et quelques-unes entièrement hors de service, tandis que les feuilles de bronze étaient toutes en bon état. A la même époque, on fit appliquer 6 feuilles de cuivre et autant de feuilles de bronze, portant chacune des marques particulières. Ces 12 feuilles furent visitées, après 12 mois de séjour dans le port; on trouva que le déchet moyen, dans chaque feuille, était de

114 grammes pour le cuivre.....
et 221 grammes pour le bronze... } rapport 0,52.

En tenant compte de la couche d'oxide qui adhérait déjà à chaque feuille, lors de son application sur la carène, les déchets dus à l'action de l'eau de mer n'étaient plus que de

105 grammes pour le cuivre.....
et 166 grammes pour le bronze... } rapport 0,63.

Ce rapport est le même que celui qui est énoncé plus haut.

1093. Le *Bisson* ayant été remis dans le bassin, après 3 ans 4 mois $\frac{1}{2}$ de séjour à flot, les deux doublages n'offraient pas de dépôts appréciables de coquillages ni de plantes marines. La couche de limon ayant été enlevée, on reconnut que le bronze était couvert d'une matière pulvérulente d'un rouge très-vif, qu'on a enlevée facilement. Le métal placé au-dessous était dans un bon état de conservation.

Quant au cuivre, les apparences extérieures étaient à peu près les mêmes, c'est-à-dire, que le métal avait son éclat naturel au-dessous de la matière pulvérulente rouge; il existait cependant d'autres endroits recouverts

d'une couche verte, qui adhérait fortement à la surface; les mêmes feuilles de cuivre étaient persillées dans beaucoup d'endroits de la carène, tandis que pas une seule feuille de bronze n'avait été jugée impropre au service.

Les pesées ont montré que le rapport de l'usure du cuivre à celui du bronze, dans la première période de 12 mois, en ne tenant pas compte de l'oxide préexistant, était de 0,52, et en tenant compte de l'oxide préexistant 0,63, et pour une nouvelle période de 6 mois 3,04. Ce dernier résultat donne une supériorité du bronze sur le cuivre, qui dépasse tout ce qu'on avait déjà observé à Cherbourg. On voit donc qu'au bout de 22 mois $\frac{1}{2}$ de séjour à flot dans le port, le cuivre du doublage, près de la flottaison, était déjà en mauvais état et en partie hors de service, tandis que les feuilles de bronze correspondantes étaient bien conservées. Après 3 ans 4 mois $\frac{1}{2}$, le doublage en cuivre s'est tellement avarié qu'il a fallu le changer en entier, tandis que pas une feuille de bronze n'a été remplacée. La matière rouge qui adhérait à la surface était composée : de protoxide de cuivre, d'un peu de deutoxide, de proto-chlorure de cuivre et d'une petite quantité d'oxide d'étain. Il est probable que cette matière, qui n'a pas été enlevée par le courant de la marée, l'aurait été par le sillage du bâtiment à la voile.

1094. Enfin un nouvel examen fut fait sur le même bâtiment, par M. Reich, sous-ingénieur de la marine (1). Après 5 mois $\frac{1}{2}$ de navigation, le *Bisson* est entré dans le bassin; le cuivre était alors tellement persillé qu'il a fallu le remplacer entièrement, tandis que le bronze était tellement bien conservé qu'on n'a pas changé une seule feuille; les déchets en poids obtenus des feuilles pesées et numérotées, s'éloignaient beaucoup moins de ceux qui avaient été obtenus à Cherbourg, de sorte que ces résultats concouraient à assigner au doublage en bronze une grande supériorité sur celui en cuivre.

---

(1) Annal. maritimes, t. LVII, p. 905.

1095. De nouvelles épreuves, faites sur le brick l'*Actéon* (1), ont montré que pour le bronze, comme pour le cuivre, l'usure a été plus forte à l'avant qu'au milieu, et plus forte au milieu qu'à l'arrière. Le rapport de la perte totale absolue du cuivre à celle du bronze a été de 2,250.

1096. La marine marchande s'est occupée aussi de l'emploi comparatif du cuivre et du bronze pour doublage des bâtiments (2). M. J. Winslow, armateur du Hâvre, est le premier qui ait fait des observations à cet égard. Il a fait appliquer sur le baleinier le *Bourbon*, en 1832, 20 feuilles de bronze pesant chacune 7 livres, et à côté même nombre de feuilles de cuivre d'un poids égal à celles de bronze. Ce bâtiment a fait deux voyages pour la pêche de la baleine avec ce doublage. Le premier a duré 8 mois 23 jours et le second 6 mois. Au retour, en mai 1834, une partie des feuilles de cuivre étant usée, on fit dédoubler le navire et l'on pesa séparément les feuilles de cuivre et les feuilles de bronze qui se trouvaient en contact les unes avec les autres. On a constaté qu'aucune feuille de bronze n'avait perdu plus de 4 onces de son poids primitif, tandis que chaque feuille de cuivre avait généralement perdu une livre et demie. La surface du bronze était très-nette et très-unie, et aucun corps étranger ne s'y était déposé.

M. Mortemar, armateur maritime (3), a fait également des essais avec le navire baleinier le *Cachalot*, qui a fait 19 mois de campagne, dont 17 sous voile.

Les personnes qui ont assisté à l'examen des feuilles de cuivre et de bronze, ont été partagées d'opinion sur l'état de leur conservation. Elles ont été d'avis que si les doublages en bronze présentaient toujours la supériorité sur les doublages en cuivre, elle était loin d'être aussi

(1) Annal. maritimes, t. LVII, p. 908.
(2) Annal. marit., t. LIV, p. 251.
(3) Annal. marit., t. LVII, p. 74.

prononcée qu'on l'avait observé à bord de quelques bâtiments.

1097. Telles sont les principales observations qui ont été faites jusqu'ici sur la comparaison des doublages en cuivre et en bronze; elles nous indiquent en résumé :

1° Que sur le cutter le *Renard*, à six reprises différentes, les pertes éprouvées par le cuivre et le bronze, soit à la mer, soit en repos, sont entre elles dans le rapport à peu près de 2,15 à 1; que les dépérissements des feuilles qui s'usent le plus sont dans le rapport de 3 à 1; que l'examen des carènes, sous le rapport de l'attache des coquilles, n'a signalé aucun désavantage pour le bronze; enfin, que le bronze, à égalité de propreté des deux bords, présente sur le cuivre l'avantage d'une surface plus lisse et plus unie;

2° Que M. Brunel, en Angleterre, sur le paquebot le *Frolic*, a confirmé les résultats précédents;

3° Que sur la corvette l'*Ariane*, après un séjour de deux ans dans une mer tranquille, le rapport n'a été que de 1,07 à 1 au lieu de 2,15 à 1;

4° Que sur le brick le *Bisson*, dans un premier examen, le rapport des pertes a été le même, mais le cuivre a été corrodé au point d'être hors de service, tandis que le bronze n'offrait rien de semblable;

Que dans des examens subséquents le rapport a d'abord été de 0,52, puis de 3,04, et s'est enfin rapproché de celui que l'on avait obtenu sur le *Renard*;

5° Que les essais tentés sur les bâtiments marchands ont confirmé les premiers résultats que le *Renard* avait fournis.

On voit donc que, sauf quelques exceptions, l'expérience a démontré que le doublage en bronze avait un avantage marqué sur le doublage en cuivre.

1098. Nous ne quitterons pas ce sujet important sans ajouter quelques observations à celles que nous avons déja présentées précédemment, touchant l'influence de l'action chimique de l'électricité sur l'altération du cuivre, du bronze, et en général des métaux, par l'influence

d'agents extérieurs. Toutes les fois qu'une lame d'un métal oxidable, parfaitement homogène, est exposée à l'influence d'agents capables de l'altérer, toutes les parties sont également attaquées, et l'action chimique de l'électricité dégagée dans la réaction ne peut exercer aucune influence sur elle; mais pour peu qu'il y ait défaut d'homogénéité, provenant de parties qui n'ont pas toutes la même force de cohésion ou de toute autre cause, il n'en est plus de même; ces parties deviennent les pôles de couples voltaïques; celles qui sont le plus attaquées sont les pôles positifs, celles qui le sont le moins les pôles négatifs : dès lors l'action chimique éprouve une activité nouvelle.

Ces effets doivent se reproduire dans des lames de métal passées au laminoir, attendu que la pression forcée qu'elles éprouvent rompt l'homogénéité en déterminant des déchirements, des solutions de continuité partiels qui sont surtout sensibles dans les alliages comme le bronze, qui se prête difficilement au laminage. Dès lors il est presque impossible d'obtenir des résultats identiquement les mêmes avec des lames placées dans les mêmes circonstances, si leur constitution n'est pas absolument semblable; aussi voyons-nous que le bronze qui avait servi au doublage du *Frolic* après plusieurs voyages, avait une surface très-rugueuse, effet que l'on a attribué à ce que les feuilles étaient pailleuses quand on les a appliquées sur le bâtiment. C'est par une cause du même genre que le doublage en cuivre du brick le *Bisson* a été corrodé dans un nombre si considérable de points qu'on a été obligé de le remplacer.

Il résulte de là, que si l'on veut obtenir les plus grands effets avec le doublage en bronze, il faut que l'on apporte tous les soins possibles au laminage des lames, afin qu'elles soient homogènes dans toutes leurs parties. Si cette condition n'est pas remplie complétement, on sera exposé à voir le bronze se détériorer plus fortement dans certaines parties que dans d'autres. Jusqu'ici on lamine à froid le bronze et on le réunit à une

température rouge obscure, après trois passages sous le laminoir; s'il était possible de le laminer à chaud, le métal aurait plus d'élasticité, il y aurait moins de déchirements, et l'on aurait rempli les conditions voulues pour assurer l'homogénéité aux lames. Nous devons ajouter aussi que les clous qui servent à fixer les lames de bronze doivent être composés du même alliage et doués, s'il était possible, de la même force de cohésion.

1099. Il ne faut pas croire que le bronze puisse être conservé indéfiniment dans l'eau de mer, sans éprouver de décomposition; tout ce que l'on peut désirer, c'est que cet alliage ait un avantage marqué pour sa durée sur le doublage en cuivre.

Les observations suivantes, qui sont dues à M. Robert, prouvent que le bronze finit par se décomposer complétement dans l'eau de mer. Cet ingénieur nous a remis un morceau entièrement décomposé, détaché d'une lame de bronze qui était restée deux ans dans une eau de mer tranquille. Ce morceau avait l'aspect d'une éponge, les parties n'avaient aucune cohérence et présentaient un volume beaucoup plus grand que celui qu'il avait avant sa décomposition; il s'en forme également sur les doublages en cuivre pur, mais ils sont plus difficiles à se procurer, parce qu'ils sont moins adhérents.

Ce même métal se perce en très-peu de temps aux endroits où il se forme des dépôts de sels, et les ouvertures ainsi formées sont parfois aussi tranchées que si on les avait faites avec un emporte-pièce. Dès qu'une petite cristallisation de ce genre s'établit, elle est d'abord imperceptible, puis l'on voit le métal se creuser dessous, à une profondeur proportionnée au développement que la couche a prise. M. Robert nous a transmis aussi quelques renseignements concernant les effets produits sur des cuivres protégés et sur des cuivres non protégés. Sur les doublages protégés ce sont des composés connus sous le nom de cendres bleues ou vertes. Sur les cuivres non protégés, la couche qui se forme est verte à l'extérieur et d'un rouge foncé à sa face de con-

tact avec le cuivre; dans le premier cas, l'oxide est adhérent et ne se détache qu'en poussière; dans le deuxième, c'est-à-dire quand la couche rouge existe, il suffit d'une chaleur capable de le dessécher pour qu'il se lève en écailles et en plaques.

On a remarqué avec raison que l'altération des métaux qui servaient au doublage des vaisseaux commençait sur les arêtes dans les parties des lames qui avaient été pliées; nous en avons déjà dit la cause, nous la rappellerons de nouveau. Dans ces parties, les molécules ont été mises dans un état forcé, la force de cohésion est moins grande; dès lors elles sont plus accessibles à l'influence des agents extérieurs, et comme les portions environnantes sont moins attaquées, il en résulte une foule de couples voltaïques dont l'action augmente l'énergie des altérations.

1100. Dans la marine marchande, on double les vaisseaux en zinc, à cause de son bas prix. Ce doublage dure, dit-on, autant que celui en cuivre. L'expérience a prouvé que lorsque les lames de zinc sont chevillées et clouées en fer, il n'existe aucune action réciproque de l'un de ces deux métaux sur l'autre, bien qu'ils soient en contact immédiat; il en est encore de même quand les clous sont étamés. Cela vient probablement de ce que la couche de sous-oxide de zinc s'oppose à l'action voltaïque.

Nous croyons avoir rapporté tous les documents que l'on a pu recueillir jusqu'ici sur les moyens de perfectionner le doublage métallique des vaisseaux. Nous devons en appeler maintenant à l'expérience pour connaître des faits de détail que la théorie ne peut indiquer.

§ VII. *Altération du plomb.*

1101. Lorsque le plomb reste exposé à l'air, sa surface se recouvre d'une couche de sous-oxide de plomb, d'une couleur bleu-grisâtre, dont la teinte devient de plus en plus foncée.

Ce métal s'altère également dans l'eau. L'effet est tel-

lement sensible que si l'on conserve pendant quelque temps de l'eau distillée dans un vase de plomb, elle ne tarde pas à acquérir la propriété d'exercer une faible réaction alcaline sur les papiers à réactif.

1102. Guyton Morveau et Philips Yorke (1), qui ont fait quelques expériences à cet égard, ont observé les effets suivants : lorsque l'on conserve du plomb dans de l'eau distillée aérée, il se forme de l'hydrate de plomb et l'eau dissout $\frac{1}{12000}$ de son poids de cet hydrate ; de l'hydro-carbonate en très-petits cristaux brillants et de l'oxide anhydre en petits cristaux dodécaèdres en lamelles grisâtres. Ce dernier produit se sépare par cristallisation de la dissolution aqueuse et se dépose sur les corps étrangers. Toute action cesse si l'eau est parfaitement privée d'air.

Quand l'eau tient en dissolution une petite quantité de sel, son action est considérablement diminuée et il ne se forme qu'un peu d'oxide.

1103. Le plomb est employé dans une foule de cas, en raison de son prix peu élevé et de la propriété qu'il possède d'être réduit en lames très-minces; c'est pour ce motif qu'on en couvre les toits des édifices, qu'on en fait des réservoirs et des tuyaux. On a remarqué que le plomb laminé, employé à couvrir les bâtiments, éprouve un genre de décomposition assez singulier; il se fendille, s'effeuille, comme si toutes les parties se désunissaient, et finit par s'oxider complétement; aussi évite-t-on de se servir de lames de plomb ainsi préparées, quand il s'agit de les exposer à l'air humide.

Le plomb, comme tous les métaux qui s'altèrent spontanément, jouit de la propriété, en raison des effets électro-chimiques qui en résultent, de décomposer les solutions salines avec lesquelles il est en contact. A l'instant où il s'oxide, s'il se trouve dans un lieu humide où il se produit une grande quantité d'acide carbonique, il se

---

(1) Philosoph. mag., août 1834.

forme du carbonate de plomb sous forme de lamelles; si l'action est lente, on a des cristaux.

1104. Nous avons différents moyens d'obtenir le carbonate de plomb; nous allons en indiquer plusieurs pour montrer les ressources dont dispose l'électro-chimie.

1er *procédé.*—On prend un tube courbé en U au fond duquel se trouve de l'argile très-pure. Dans l'une des branches on met de l'eau et dans l'autre une solution de bicarbonate de soude; dans la première plonge une lame de plomb en communication avec un appareil voltaïque fonctionnant sans interruption, et dans l'autre une lame de platine. L'appareil doit avoir assez d'énergie pour opérer la décomposition du bicarbonate. L'oxigène et l'acide carbonique se transportent sur le plomb et se combinent avec lui : le carbonate formé est en lamelles assez brillantes.

2^{e} *procédé.* —M. Paillette est parvenu à l'obtenir en cristaux très-nets, en faisant usage de l'un de nos apparels. Voici les circonstances qui l'ont mis à même de reproduire ce composé : les empreintes des cristaux de carbonate de chaux ayant été reconnues dans le fil d'Huelgoat au milieu de quartz amorphe, on a dû en conclure que ces carbonates avaient existé jadis dans ces portions de la veine métallifère. D'un autre côté, les carbonates de plomb existant en grande abondance près des places où se trouvaient les couches de carbonate de chaux, il était naturel de penser que les carbonates de chaux eux-mêmes, décomposés par le sulfate de fer et d'alumine, avaient réagi en même temps sur des galènes déjà altérées, d'où était résulté du carbonate de plomb. Pour rendre probable cette conjecture, M. Paillette a fait l'expérience suivante avec l'appareil (557) déjà décrit. Le bocal A, fig. 3, contenait une solution de chlorure de sodium et une plaque de zinc; le bocal B de l'eau distillée et du carbonate de chaux artificiel dans la partie inférieure; le bocal C du sulfate de cuivre et une lame de même métal en communication, au moyen d'un fil de cuivre, avec la lame de zinc. A et B communiquaient par l'intermédiaire d'une

lame de plomb, B et C avec un tube rempli d'argile humectée avec une solution de nitrate de potasse. L'action du couple voltaïque *zmc* ayant décomposé le sulfate de cuivre, le cuivre s'est précipité sur *c'*, tandis que l'oxigène et l'acide sulfurique ont été transportés vers *b*; en traversant le tube, l'acide sulfurique a chassé l'acide nitrique et s'est combiné avec la potasse; l'acide sulfurique et l'oxigène ont été transportés sur la lame de plomb, sur laquelle ils ont réagi; mais comme le carbonate de chaux, en contact avec le métal, était soumis aussi à la réaction électro-chimique, il en est résulté du carbonate de plomb qui a cristallisé en jolis cristaux sur la lame, et du nitrate de chaux qui est resté en dissolution. Cet appareil aurait réagi avec plus de force encore, si, au lieu de joindre A et B avec une lame de plomb, on eût employé une lame mi-partie de platine et de plomb, le bout platiné plongeant dans A.

3e *procédé.* — Au fond d'un tube de verre fermé, de 4 millimètres de diamètre et de 1 décimètre de long, on met du carbonate de cuivre artificiel, de manière à occuper deux ou trois centimètres en hauteur; on verse dessus une solution saturée de sel marin, et l'on plonge dedans une lame de plomb, qu'on descend jusqu'à l'extrémité du tube, puis on ferme le tube pour empêcher l'évaporation. Le plomb n'étant pas attaqué également par le sel marin en haut et en bas, acquiert des propriétés électriques en vertu desquelles il réagit sur le carbonate de cuivre.

Ce composé est réduit lentement; la partie inférieure de la lame de plomb qui est recouverte de cuivre se trouve être le pôle négatif d'un couple voltaïque dont la partie supérieure est le pôle positif.

Pour interpréter les effets produits, il faut se rappeler que lorsque le plomb est en contact avec une solution de sel marin, il en résulte un double chlorure de plomb et de sodium; la liqueur devient alcaline, par suite de la décomposition du sel. Dès l'instant que l'acide carbonique et l'oxigène, qui proviennent de la décomposition

du carbonate de cuivre, arrivent sur la partie supérieure de la lame, il se forme du carbonate de plomb qui cristallise au milieu du double chlorure.

Voici comment on peut expliquer toutes ces réactions dans la théorie atomique :

Corps en présence et produits formés.	Composition atomique.
Carbonate bi-basique de cuivre.	1 at. de deutoxide de cuivre. 1 at. d'acide carbonique. 2 at. d'eau.
Chlorure de sodium.	1 at. de sodium.
Plomb	2 at. de chlore.
Chlorure de plomb.	1 at. de plomb. 2 at. de chlore.
Carbonate de plomb.	1 at. de protoxide. 1 at. d'acide carbonique.
Double chlorure de plomb et de sodium	1 at. d'eau de chlorure de sodium. 1 at. de chlorure de plomb.

Dans la formation d'un atome de double chlorure, un atome de sodium devient libre ; dans la décomposition d'un atome de carbonate bi-basique de cuivre, 1 atome d'oxigène, 1 atome d'acide carbonique et 2 atomes d'eau se portent sur le plomb ; d'où résulte 1 atome de carbonate de plomb.

On obtient également le carbonate de plomb en opérant avec de l'eau distillée, au lieu d'eau salée.

Nous pourrions citer d'autres méthodes pour obtenir le carbonate de plomb cristallisé, mais celles qui précèdent suffisent pour montrer avec quelle facilité il se produit. Il faut que le plomb s'oxide lentement en présence de l'acide carbonique à l'état naissant.

1105. Nous allons donner quelques exemples de formation spontanée de carbonate de plomb. En 1833, nous visitâmes le château d'eau de l'Abattoir de Limoges, où il existe un grand réservoir en plomb ; nous fûmes fort

étonné de le trouver recouvert extérieurement, dans quelques parties, de lamelles d'un blanc éclatant de carbonate de plomb, quoiqu'il ne fût en place que depuis deux ans. Ces lamelles étaient plus abondantes sur les parties humides et non aérées que sur celles qui étaient exposées à des courants d'air.

Dans la partie basse, où l'air était le plus chargé de vapeurs aqueuses et où se trouvait le fond de la cuve, les efflorescences formaient des épaisseurs de plusieurs millimètres. L'air constamment humide était donc, ici, une des causes principales de la prompte altération des lames de plomb, qui finiront par être perforées, si l'on ne parvient à l'arrêter. Voyons quelles sont les causes qui concourent avec l'air humide à cette action.

La cuve repose sur des supports en bois, qui s'altèrent en raison de l'humidité qui règne dans l'enceinte et en particulier dans le caveau. Or, on sait depuis longtemps que le bois se détruit peu à peu sous l'influence simultanée de l'eau et de l'air, et qu'il se produit de l'acide carbonique. Si la cuve eût été placée sur des massifs en maçonnerie, on aurait déjà évité une des causes de la formation de cet acide. Il est donc probable que l'altération rapide du plomb provient 1° du défaut de renouvellement d'air et de l'extrême humidité; 2° de la décomposition du bois qui fournit une certaine quantité d'acide carbonique, laquelle n'étant pas enlevée par les courants d'air, réagit immédiatement sur le plomb avec d'autant plus d'énergie que le métal est en contact avec le ligneux déjà décomposé, ce qui détermine la circulation du fluide électrique. Règle générale : Quand des agents quelconques réagissent inégalement sur une lame de métal, il y a autant de piles qu'il y a de points inégalement attaqués; ainsi, si sur la surface il y a des points qui n'éprouvent aucune action, d'autres une action très-forte, d'autres des actions très-faibles, d'autres enfin qui sont en contact avec des métaux, du charbon ou d'autres corps organiques décomposés, ces points sont autant de centres d'actions voltaïques qui donnent une

nouvelle énergie aux actions chimiques. C'est ce que l'on a souvent l'occasion de remarquer dans le fer exposé à l'air, et en particulier sur les lames de plomb dont il est ici question. Aussi n'est-on pas étonné de voir que les efflorescences sont très-abondantes à côté des endroits où le plomb semble être préservé par le bois. Voyons les moyens que l'on pourrait employer pour éviter la formation du carbonate. En Suède, on a reconnu que plusieurs couches de couleur rouge de peroxide de fer, appliquées sur le bois, suffisent pour le préserver, pendant plusieurs siècles, des actions combinées de l'eau et de l'air. M. Berzelius cite des maisons bâties depuis trois cents ans, qu'on habite encore, et qui ont été préservées par ce moyen. D'un autre côté, en aérant convenablement les lieux, on enlève les vapeurs d'eau et l'acide carbonique qui sont les principales causes de l'altération du plomb; voilà, je crois, ce qu'il y a de mieux à faire pour l'instant.

Les causes de destruction dont nous venons de parler ne se manifestent pas, ou du moins se manifestent peu sur les feuilles de plomb qui recouvrent nos bâtiments, parce que les causes ne sont plus les mêmes.

1106. Nous avons dit que le contact des corps étrangers suffit pour altérer assez promptement le plomb, quand il est resté à l'humidité. En voici une preuve irréfragable : une médaille de plomb recouverte d'une feuille d'or battue, très-mince, a été placée pendant quelques années dans une armoire humide, elle s'est recouverte d'une poussière blanche de carbonate de plomb, suffisamment épaisse pour masquer entièrement la couleur de l'or. Ce carbonate provient de la réaction de l'acide carbonique de l'air sur le plomb, qui a été transporté de l'intérieur de la médaille à l'extérieur, à travers les petits interstices de la feuille d'or, par l'action du courant électrique résultant du contact des deux métaux et de l'altération du plomb par l'eau, l'oxigène et l'acide carbonique de l'air. Il est probable que l'eau n'a servi ici que de véhicule. Cet exemple prouve qu'une feuille d'or bat-

tue, appliquée sur du plomb qui se trouve dans un endroit humide, hâte son altération. Rien de semblable n'arrive sur le dôme des Invalides, attendu que l'or est appliqué directement sur une préparation adhérente au plomb, qui préserve ce dernier de l'action du contact. Si la dorure disparaît peu à peu, la cause en est purement mécanique, comme nous nous en sommes assuré récemment. Nous rapporterons encore un fait à l'appui des observations que nous venons de présenter; nous possédons un morceau du cercueil en plomb de Théodoric, roi des Goths, qui est presque entièrement changé en carbonate de plomb. Ce morceau nous a été remis par M. Necker de Saussure, qui l'a détaché du cercueil même, à Ravennes, dans un endroit humide, où il est resté pendant un grand nombre de siècles.

§ VIII. *Altération de l'argent, du zinc et de l'étain.*

1107. L'argent n'est pas altérable au contact de l'eau et de l'air, mais s'il reste exposé dans les lieux habités, il se recouvre d'un composé de couleur violette. On remarquait jadis, au rapport de Proust, cet effet sur les statues d'argent des deux anges placées aux deux côtés du maître-autel des Jésuites de la rue Saint-Antoine; le temps les avait recouvertes d'un enduit violet-obscur et plombé.

Le même chimiste ayant enlevé d'une ancienne pièce d'argenterie l'enduit violacé dont elle était chargée, l'a trouvé composé uniquement de sulfure d'argent. Cet effet provient des émanations sulfureuses qui s'échappent du corps de l'homme.

L'argent doit donc éprouver une altération rapide dans les milieux où il existe en abondance des sulfures qui peuvent lui céder une portion de leur soufre; nous possédons trois pièces de monnaie, jadis d'argent, qui ont été changées en sulfure, par un séjour de quelques années dans une fosse d'aisances. Leur forme est sensiblement la même qu'avant leur formation, de sorte que

la sulfuration s'est opérée par des effets de cémentation semblables à ceux qui ont changé en protoxide de cuivre les monnaies antiques de bronze dont nous avons déjà parlé. Une de ces pièces est recouverte, dans une partie, de cristaux très-nets de sulfure d'argent de 1 millimètre de côté. Nous nous bornons à indiquer cet effet, sans chercher à l'expliquer, en raison du grand nombre de substances qui se trouvent réunies dans les lieux d'aisances.

1108. L'argent éprouve aussi une altération très-marquée quand il séjourne longtemps dans l'eau salée ou dans la mer. Proust a observé que les piastres tombées au fond de la mer, lors du naufrage d'un vaisseau, le *San-Pedro-Acantara*, s'étaient recouvertes, dans un court espace de temps, d'une croûte de chlorure d'argent d'un demi-millimètre d'épaisseur.

M. de Humboldt a eu l'occasion de faire la même observation, pendant son séjour au Pérou, lors du naufrage de la frégate *Santa-Loecadice* sur les côtes de la mer du Sud.

Pallas assure aussi (1) qu'en Sibérie, sur les rives du Jaik, on a trouvé d'anciennes monnaies tartares converties en chlorure d'argent par le contact d'un terrain qui est imprégné de chlorure de sodium.

1109. Dans les appareils électro-chimiques, où l'argent est en contact avec une solution concentrée de sel marin et un morceau de charbon, il se forme des cristaux octaèdres de double chlorure d'argent et de sodium, lesquels sont décomposés au contact de l'eau. D'après les faits précédents, la double combinaison ne se produit pas dans les solutions qui ne sont pas concentrées.

1110. Le zinc qui reste longtemps exposé au contact de l'air se recouvre d'une couche de sous-oxide d'un gris clair, qui n'éprouve plus aucune altération de la part de l'air humide. L'épaisseur de cette couche ne paraît

---

(1) Nordische Beiträge, t. III, p. 64.

pas augmenter; il pourrait cependant y avoir un effet de cémentation analogue à celui qui change quelquefois les médailles de bronze en protoxide. Le sous-oxide est très-dur et résiste mieux que le métal lui-même à l'action mécanique et à l'action chimique de divers agents. Ces qualités du zinc, outre son bas prix, doivent le faire rechercher pour la couverture des bâtiments.

M. Berthier, qui a eu l'occasion d'examiner l'état d'une couverture en zinc faite depuis vingt-cinq ans, a constaté que le métal s'est recouvert d'une légère couche grisâtre, qui s'est maintenue en parfait état jusqu'à ce jour, sans que l'oxidation superficielle ait fait aucun progrès. On doit conclure de là que la couche grisâtre conserve le métal intact pendant de longues années.

L'étain se conserve longtemps à l'air sans altération; mais avec le temps il prend une teinte jaunâtre et des nuances irisées qui indiquent un commencement d'oxidation. Nous possédons un vase en étain qui est resté pendant plusieurs siècles dans la terre et dont la surface est recouverte d'une couche assez épaisse d'oxide.

Davy a avancé que l'étain préservait le fer de l'oxidation de l'eau de mer, et que l'on pouvait se servir par conséquent de cette propriété pour garantir d'altération les chaudières des bateaux à vapeur.

M. Vanbeck a été conduit par l'expérience à une conséquence tout à fait opposée; savoir, qu'un morceau d'étain placé dans l'intérieur d'une chaudière à vapeur contenant de l'eau de mer, au lieu d'empêcher l'oxidation du fer, contribue au contraire à sa prompte altération. Voici les expériences qui ont mis à même ce physicien d'émettre une opinion contraire à celle de Davy :

1° Une plaque de fer de 65 millimètres carrés, placée dans un verre cylindrique contenant environ un demi-litre d'eau de mer, fut promptement corrodée; 42 jours après, la surface de la plaque était fortement oxidée, et une couche épaisse d'oxide s'était déposée au fond du vase;

2° Une semblable plaque de fer, à laquelle était attaché un petit morceau d'étain poli, de 23 millimètres carrés, fut placée, pendant le même temps, dans une même quantité d'eau de mer; bientôt le fer fut fortement oxidé, tandis que l'étain n'éprouva aucune altération bien sensible. Au bout de 42 jours, la quantité de peroxide de fer déposée au fond du vase égalait au moins celle qu'on avait obtenue dans la première expérience;

3° Une plaque d'étain, de 65 millimètres carrés, à laquelle était attaché un petit morceau de fer, de 23 millimètres carrés, fut exposée à l'action de l'eau de mer; le fer fut promptement oxidé, tandis que la plaque d'étain conserva constamment son poli;

4° Deux lames d'étain et de fer, disposées comme dans l'expérience précédente, au lieu d'être mises directement en contact, furent séparées par une lame mince de mica et placées dans de l'eau de mer; l'étain fut attaqué, tandis que 14 jours après le fer n'avait encore éprouvé qu'une faible oxidation;

5° Une plaque d'étain polie, exposée à l'action de l'eau de mer, montre promptement des signes évidents d'oxidation particulièrement sur les aspérités.

Ces diverses expériences prouvent que le fer, qui éprouve une forte altération, quand il est placé seul dans l'eau de mer, n'est nullement préservé par le contact de l'étain; tandis que ce dernier métal, qui est légèrement oxidé par l'eau de mer lorsqu'il est seul, est préservé par le contact du fer.

Ces faits nous ont paru assez intéressants pour trouver place ici.

CHAPITRE V.

DE LA FORMATION SPONTANÉE DE L'AMMONIAQUE ET DE QUELQUES AUTRES COMPOSÉS.

§ I^er. *De la formation spontanée de l'ammoniaque.*

1111. On a pu voir, d'après tous les faits qui ont été exposés jusqu'ici, et la marche que nous avons suivie, que notre but est d'examiner ce qui se passe dans le contact de substances diverses réunies en tas, ou formant des magma; les effets produits devant être attribués non-seulement au jeu des affinités, mais encore aux actions électriques de contact, rentrent dans le domaine de l'électro-chimie et, sous ce rapport, doivent attirer toute notre attention.

L'ammoniaque se forme fréquemment dans les décompositions électro-chimiques, ainsi que dans certaines actions spontanées. Nous devons donc étudier les circonstances principales dans lesquelles cet alcali prend naissance, afin d'établir une relation entre l'un et l'autre mode d'action.

Nous savons que lorsque l'on soumet à l'action de la pile de l'eau distillée, au moyen de deux lames de platine, il se forme de l'ammoniaque sur la lame négative par suite de la combinaison de l'hydrogène de l'eau décomposée avec l'azote de l'air ou des substances organiques qui se trouvent dans l'eau. De même dans les appareils électro-chimiques simples, tels que celui qui sert à produire des cristaux de protoxide de cuivre (530), et qui est composé d'une lame de cuivre, de deutoxide et

d'une solution de nitrate du même métal, l'eau est décomposée ainsi que l'acide nitrique, et il en résulte du nitrate d'ammoniaque qui cristallise en longues aiguilles. En général, dans les actions électro-chimiques lentes, où les éléments de l'eau sont séparés, il y a également formation d'ammoniaque.

1112. Cet alcali se produit aussi dans certaines circonstances qui ont été étudiées par M. Faraday et dont on doit tenir compte dans les expériences dont il sera question ci-après. Cet habile chimiste ayant soupçonné que plusieurs causes pouvaient contribuer à la formation de l'ammoniaque, a cherché à déterminer quelques-unes d'entre elles. Ayant mis un petit morceau de zinc à surface bien nette dans un tube avec un fragment de potasse et ayant chauffé l'extrémité du tube de manière à fondre l'alcali, le papier de curcuma placé à l'autre extrémité fut rougi. La formation de l'ammoniaque n'est pas due ici à la présence de l'azote de l'air, attendu que l'on a obtenu le même résultat en opérant dans l'hydrogène.

1113. Du sable chauffé au rouge dans un creuset, puis refroidi sur une plaque de cuivre, n'a donné aucune trace d'ammoniaque, en le mettant dans un tube de verre, avec de la potasse et opérant comme précédemment; mais on en a obtenu très-sensiblement en tenant le sable quelques instants dans la main. La soude, la chaux et la baryte substituées à la potasse, ont donné le même résultat. Le potassium, le fer, l'étain, le plomb, l'arsenic, les métaux oxidables enfin, substitués au zinc, ont donné beaucoup d'ammoniaque dans les mêmes circonstances, tandis que l'éponge de platine, l'argent, l'or, etc., c'est-à-dire les métaux non oxidables, ou peu oxidables, ainsi que les oxides métalliques, n'ont produit rien de semblable.

1114. Il résulte de là que les métaux ou autres substances ne paraissent agir que d'après la propriété dont ils jouissent d'enlever l'oxigène à l'eau qui est indispensable au succès de l'expérience. La nature des substances

exerce une influence déterminante sur la production du phénomène, puisque le ligneux, l'oxalate de potasse, celui de chaux, l'acétate de chaux, donnent des quantités sensibles d'ammoniaque, tandis que les acétates de potasse et de plomb, le tartrate de potasse, le sucre, la cire, la résine, l'alcool et l'éther ne produisent aucun effet. Quant aux substances qui contiennent de l'azote, la quantité d'ammoniaque formée est d'autant plus grande que l'on a employé plus de potasse.

1115. Nous devons faire remarquer que la chaux et la potasse bien préparées ne donnent point l'ammoniaque en les chauffant seules, mais qu'elles acquièrent la propriété d'en produire quand elles ont été exposées à l'air pendant quelques instants. On voit par là que la présence d'un alcali et d'une matière organique est une condition essentielle au succès de l'expérience. L'alcali agit très-probablement en aidant à la décomposition de la matière organique qui fournit l'azote à l'hydrogène provenant de la décomposition de l'eau.

Dans l'expérience où l'on a fait agir du zinc, de la potasse contenant des traces de corps organisés, et de l'eau, il y a évidemment couple voltaïque, dont l'action sur le corps organisé aide à celle de la potasse.

1116. Parlons maintenant des actions spontanées qui donnent naissance à l'ammoniaque, et voyons jusqu'à quel point les observateurs se sont mis en garde dans leurs essais contre les effets précédents, pour constater son existence dans les divers cas que nous allons passer en revue.

Vauquelin a trouvé que la rouille qui se forme sur le fer, dans les maisons habitées, contient ordinairement des vapeurs ammoniacales. Il a constaté ce fait en chauffant la pièce d'essai dans un tube de verre fermé par un bout où il avait introduit une bande de papier de tournesol rougie par un acide et mouillée. Dès l'instant que la matière fut chaude, une vapeur jaunâtre s'en exhala et changea en bleu la couleur rouge du papier.

Le même chimiste a avancé que la rouille qui se forme

sur le fer dans l'intérieur des maisons absorbe les vapeurs ammoniacales qui s'y développent et les y retient assez fortement; mais il n'est pas nécessaire d'avoir recours à cette explication pour démontrer l'existence de l'ammoniaque dans la rouille, attendu qu'elle se forme, comme nous l'avons dit précédemment, toutes les fois que l'eau réagit sur le fer au contact de l'air.

1117. M. Chevalier a prouvé aussi, de la manière suivante, que le fer en s'oxidant au contact de l'eau et de l'air donne naissance à de l'ammoniaque. Ayant introduit de la tournure de fer, parfaitement décapée, dans de l'eau distillée renfermée dans un flacon dont l'ouverture plongeait dans le mercure, du papier tournesol rougi par un acide introduit 10 heures après dans le flacon a été ramené au bleu. Quelques jours après, l'eau ayant été saturée par l'acide hydro-chlorique, on a obtenu une quantité sensible de chlorure d'ammoniaque.

M. Chevalier a reconnu aussi la présence de l'ammoniaque dans différents minerais de fer, tels que le fer oligiste lamelliforme de l'île d'Elbe, la variété compacte de Framont, le fer oxidulé, le fer hématite, l'hyénite, le fer oxidé terreux, enfin dans le résidu des eaux de Passy après l'évaporation.

La présence de l'ammoniaque dans les oxides de fer naturel et les composés de ce métal est très-importante pour la géologie, puisqu'elle nous semble indiquer que ces oxides et ces composés proviennent de l'altération du fer par l'eau. Aussi ne craignons-nous pas d'ajouter d'autres preuves à celles que nous venons de donner.

M. Boussingault a expérimenté sur des minerais de fer nouvellement tirés de terre et sur les lieux mêmes, afin de montrer que la formation de l'ammoniaque ne devait pas être attribuée au séjour prolongé de ces minerais dans les maisons habitées, où l'on supposait qu'ils absorbaient des vapeurs ammoniacales.

Il opéra sur du fer oxidé hydraté, qui se trouvait en filons dans la mine d'or de Cumba. Le minerai fut traité avec de l'eau distillée renfermant un peu d'acide hydro-

chlorique. L'eau de lavage ayant été évaporée, le résidu fut introduit avec un fragment de chaux vive dans un tube de verre fermé par une extrémité. Le mélange, humecté et chauffé légèrement, laissa dégager de l'ammoniaque.

On a cité encore quelques exemples de la présence de l'ammoniaque dans les minéraux, entre autres dans certaines substances argileuses, mais nous pensons en avoir dit assez pour montrer qu'elle se forme dans un grand nombre d'actions lentes, et principalement dans celles où les courants électriques prêtent un puissant appui aux affinités.

1118. On prouve encore la formation spontanée de l'ammoniaque de la manière suivante :

On prend des lames polies de fer, de zinc, de plomb et d'étain, sur lesquelles on verse une couche très-mince d'eau distillée, et l'on applique dessus des bandes de papier de curcuma. Une demi-heure après, la couleur jaune passe au rouge dans quelques points, puis s'étend. La couleur rouge disparaît au feu. Si l'on remplace les bandes de papier de curcuma par du papier joseph et qu'au bout de 12 heures on les expose à l'action de la chaleur dans un tube au haut duquel on a mis du papier à réactif humide, on a aussitôt la réaction alcaline.

Il est prouvé par là qu'il y a formation d'ammoniaque toutes les fois qu'un métal facilement oxidable se trouve en contact avec l'eau et l'air.

1119. Lorsqu'on répand une dissolution de sulfate de potasse sur une lame de fer, on obtient des effets électro-chimiques qui conduisent à des résultats analogues. L'oxidation du fer commence aussitôt, le métal prend l'électricité négative et la solution l'électricité positive ; quelques parties de la surface se recouvrent d'oxide, il en résulte de petits couples voltaïques formés de fer, d'oxide et d'eau ; le métal est le pôle positif et son oxide le pôle négatif. Dès lors celui-ci doit attirer l'hydrogène de l'eau qui se combine avec l'azote de l'air dissous dans l'eau ; cette opération doit marcher d'autant plus vite

qu'il y a plus d'oxide de formé. L'action voltaïque exerce encore son action sur le sulfate de potasse pour opérer sa décomposition; la potasse qui est mise à nu se combine avec l'acide carbonique de l'air, tandis que l'acide sulfurique forme avec l'oxide de fer un sous-proto-sulfate de fer, lequel se combine avec le sulfate de potasse. Cette combinaison se décompose peu à peu, à mesure que le métal passe à un état supérieur d'oxidation. L'expérience marche plus rapidement quand on opère avec de la limaille de fer, que l'on humecte de temps à autre. La dissolution acquiert alors promptement la faculté de rougir la couleur du curcuma, et l'on n'y reconnaît alors aucune trace de fer, ce qui dénote que la combinaison du sous-sulfate de fer avec le sulfate de potasse est insoluble; dans ces diverses réactions il se produit également de l'ammoniaque.

1120. Peut-on employer ce procédé en grand, pour décomposer les sulfates de potasse et de soude et obtenir ainsi les carbonates de ces deux bases? Voici l'expérience qui a été faite à cet égard : sur une plaque de tôle, de deux décimètres de côté, nous avons mis huit décagrammes de limaille de fer et 3 grammes de sulfate de potasse, avec suffisamment d'eau distillée pour humecter toute la masse, qui a été tenue constamment humide; 6 jours après on a lavé, à quatre reprises différentes, la plaque et la limaille, puis l'on a filtré et évaporé ; le résidu salin pesait 2^{gr} 15; traité avec le chlorure de barium, pour en précipiter tout l'acide sulfurique, on a eu 2^{gr} 15 de sulfate de baryte, qui représentent 0,74 d'acide sulfurique. Cette quantité correspond à 1^{gr} 60 de sulfate de potasse; en retranchant ce nombre de 2^{gr} 15, il reste 0,55 de carbonate de potasse, qui provient de la décomposition de 0,70 de sulfate de potasse. Ainsi, dans l'espace de 6 jours environ, un quart de sulfate de potasse a été décomposé; on n'a retrouvé que 2^{gr} 15 de salin que parce qu'une partie du double sulfate qui est restée sur le filtre n'est décomposée que par de nombreux lavages.

§ II. *Considérations sur la formation du nitrate de potasse.*

1121. Quoique nous n'ayons pas des raisons aussi péremptoires pour rattacher la formation du salpêtre à des effets électriques que nous en avons eu pour y ramener, dans un grand nombre de cas, la formation de l'ammoniaque, cependant, comme l'un des éléments de ce sel, l'acide nitrique, se forme dans les temps d'orage par suite de la réaction des décharges électriques sur l'oxigène et l'azote de l'air, ainsi que dans un grand nombre d'actions électro-chimiques où l'oxigène et l'azote se trouvent l'un et l'autre à l'état naissant, il est convenable d'examiner le rôle que peut jouer cet acide dans la nature.

M. Liebig (1) a analysé 77 résidus obtenus par l'évaporation d'autant d'eau de pluie : tous contenaient du chlorure de sodium sans trace de potasse ; le manganèse et le fer manquaient quand les eaux avaient été filtrées préalablement. Elles renfermaient également des matières organiques.

Sur les 77 échantillons d'eau, il y en avait 17 qui provenaient de pluies orageuses et qui contenaient tous de l'acide nitrique en quantité très-différente combiné avec la chaux ou avec l'ammoniaque. Parmi les autres échantillons, il n'y en avait que deux qui continssent des traces d'acide nitrique.

Il est bien prouvé par là, comme l'avait déjà observé Cavendish, que la foudre en éclatant dans l'air détermine la formation d'une quantité assez notable d'acide nitrique qui est entraînée par la pluie. Si cette eau est absorbée par des roches poreuses, sur lesquelles elle puisse réagir, il en résulte des nitrates qui produi-

(1) Annal. de Ch. et de Phys., t. xxxv, p. 329.

sent des efflorescences dans les endroits qui sont à l'abri de la pluie et des injures de l'air.

1122. Voilà une des manières d'expliquer la présence des nitrates dans des localités où il n'existe ni matières animales ni matières végétales. Mais nous sommes bien éloigné d'admettre que telle est la cause des nitrières en général. Par exemple, le nitrate de chaux existe dans un grand nombre de puits en Suède, il est naturel de rapporter sa formation au voisinage des habitations; car Luiscius, qui a analysé 12 eaux de puits à Gessen, a trouvé dans toutes des nitrates, tandis que des eaux tirées de puits situés à quelques centaines de pas de la ville n'en renfermaient aucune trace. Il faut en conclure que la présence des matières animales a exercé une influence déterminante sur la production de ces nitrates.

1123. Nous n'avons nullement l'intention d'exposer les diverses théories qui ont été données de la nitrification, attendu que nous nous éloignerions du but que nous nous proposons dans cet ouvrage; nous rapporterons seulement plusieurs des circonstances principales où le nitre se forme, afin que l'on puisse apercevoir quelques-unes des causes qui président à sa production.

M. John Davy a visité, dans l'île de Ceylan, 22 cavernes desquelles on extrait le nitre (1). Les roches dans lesquelles elles sont creusées contiennent toujours, au moins, du carbonate de chaux et du feldspath. Suivant le chimiste anglais, la décomposition du feldspath et la réaction du carbonate sur l'oxigène et l'azote de l'air donnent naissance à du nitrate de chaux qui se change en nitrate de potasse, par suite de son action sur le silicate de potasse que perd le feldspath.

Le salpêtre se forme à la surface de la roche, là où l'air a accès, et il est toujours accompagné de nitrate de chaux et de magnésie; de plus on n'en trouve pas sur

(1) Annal. de Ch. et de Phys., t. xxv, p. 207.

les roches qui ne renferment ni chaux ni feldspath. Il est d'autres circonstances qui favorisent aussi la formation du salpêtre, c'est l'existence d'un peu d'humidité et d'une petite quantité de matière animale. Néanmoins M. John Davy n'adopte pas cette opinion, quoique dans les grottes de Ceylan on y trouve généralement des excréments de chauves-souris. A l'appui de son opinion, il cite la nitrière de Mémorra, où on trouve du nitre, quoiqu'il n'existe aucune trace de matière animale.

1124. Au volcan de Chalusset, dans les environs de Pontgibaud, département du Puy-de-Dôme, il existe une coulée de lave, excessivement poreuse, qui forme un escarpement abrupt et très-élevé au-dessus de la Sioule. On trouve dans cette masse du salpêtre disséminé en petites houppes cristallisées blanches.

1125. On sait que la betterave qui a crû dans un sol trop fumé contient une assez grande quantité de nitre, tandis que lorsqu'elle se trouve dans des terrains maigres et sablonneux, elle n'en renferme pas sensiblement. M. Braconnot ayant pris des feuilles de cette dernière, les ayant liées en botte et suspendues à des ficelles pour les dessécher dans un lieu médiocrement éclairé, chaud et un peu humide, au bout de quelques mois, les pétioles de ces feuilles étaient entièrement pénétrées et couvertes d'une multitude innombrable de petits cristaux de salpêtre. Il paraît que l'acide nitrique avait remplacé les acides oxalique et malique, qui avaient disparu entièrement. La quantité de salpêtre était si considérable que les pétioles brûlaient rapidement comme une mèche d'artifice, à l'approche d'un corps en ignition.

1126. A la Roche-Guyon, à peu de distance de Paris, il existe des nitrières qui sont l'objet d'une exploitation; elles se composent d'une craie très-poreuse, dont les couches coupées à pic se trouvent exposées à l'action directe des rayons du soleil. La Seine coule au pied des collines où se trouvent les terrains crayeux. Les habitants grattent la surface des couches deux fois l'an. On enlève quelques millimètres d'épaisseur que l'on traite comme

des plâtras salpêtrés. Le résidu crayeux qui reste après les lavages est façonné en pains et abandonné aux influences atmosphériques, qui déterminent une nouvelle formation de nitre. Suivant M. Dumas, qui a visité les lieux, il ne paraît pas que la matière animale soit assez abondante pour qu'on puisse lui attribuer la formation presque indéfinie des nitrates qui y prennent naissance.

Suivant cet habile chimiste, la grande quantité d'eau qui s'évapore du sol voisin et même de la Seine, et qui renferme en dissolution des matières organiques, est absorbée par la craie et y dépose des résidus organiques qui aident à la formation du nitre. La craie serait donc une sorte d'éponge se desséchant à la surface et reprenant par la capillarité l'humidité aux couches voisines, et qui de proche en proche fait arriver de loin les matières animales déposées dans le sol.

Dans cette localité on a observé un fait qui est une forte objection contre les partisans de la doctrine qui attribue le rôle essentiel aux matières animales; il existe dans ces nitrières des cavités creusées par les exploitants, qui servent de caves, d'écuries et même de pigeonniers, et dans lesquelles il ne se produit pas de nitre. Il faut dire aussi que les parois de ces cavités sont formés d'un calcaire, qui n'est pas poreux comme la craie.

§ III. *De la production du double phosphate d'ammoniaque et de magnésie dans les matières animales.*

1127. M. Mitscherlich a observé sur un calcul urinaire des cristaux de double phosphate d'ammoniaque et de magnésie parfaitement caractérisés. Comment ont-ils pu être formés, ou du moins comment cette substance s'est-elle séparée de l'urine pendant le court séjour qu'elle a fait dans la vessie, de manière à pouvoir cristalliser? c'est ce que nous ne pouvons expliquer.

Nous avons constaté nous-même la formation spontanée du même composé dans des matières fécales. Un

morceau de bois qui avait flotté pendant deux ans dans une fosse d'aisances, était recouvert dans la partie en contact avec le liquide, de cristaux de double phosphate d'ammoniaque et de magnésie de 3 ou 4 millimètres de longueur, formant des prismes droits rhomboïdaux. On conçoit comment cette cristallisation s'est effectuée : les matières fécales et surtout l'urine renferment un grand nombre de sels, particulièrement celui dont il est ici question, qui est retenu en dissolution par un acide. Cet acide vient-il à être enlevé par l'ammoniaque qui se forme aux dépens de l'urée, alors les sels insolubles se précipitent; aussi voit-on se déposer dans l'urine abandonnée à elle-même pendant quelques jours le double phosphate en aiguilles par suite d'une cristallisation confuse.

Dans la fosse d'aisances les mêmes phénomènes ont dû se reproduire, particulièrement à la surface du liquide; mais comme le sel, à mesure qu'il se déposait, était remplacé par d'autre venu de l'intérieur, on conçoit comment de gros cristaux ont pu se former, surtout quand il se trouvait là un corps étranger servant d'appui aux premiers rudiments formés de ces cristaux.

L'électro-chimie parvient à former également ce composé. Soit PQN un tube recourbé en U (fig. 4), rempli dans sa partie inférieure d'argile humide; P la branche qui communique, au moyen d'une lame de platine, avec le pôle positif d'une pile d'une vingtaine d'éléments, et N celle qui communique avec le pôle négatif. On verse dans celle-ci de l'urine fraîche, dans l'autre du chlorure de magnesium. L'eau est d'abord décomposée, mais le dégagement d'hydrogène est à peine sensible, parce que ce gaz réagit sur l'azote des matières animales pour former de l'ammoniaque. Le chlorure de magnesium est également décomposé; le chlore est mis à nu, et la magnésie se rend dans l'urine où elle donne naissance peu à peu à du phosphate ammoniaco-magnésien qui cristallise sur la lame de platine en prismes droits à base rhomboïdale, comme la substance trouvée sur le calcul urinaire

et sur le morceau de bois. On voit par là que dès l'instant que la magnésie arrive dans l'urine transportée par le courant, il y a aussitôt formation du double phosphate.

En substituant du chlorure de sodium à celui de magnesium, il y a formation abondante et cristallisation de phosphate ammoniaco-sodique.

On conçoit parfaitement la différence qui doit exister entre les effets produits dans l'urine, quand on y ajoute immédiatement de la magnésie ou de la soude pour saturer l'excès d'acide, et ceux qui sont produits lorsqu'on y fait arriver pour ainsi dire une à une au moyen des courants l'une de ces deux bases.

On peut également obtenir le double phosphate sans employer d'urine. Soit toujours le tube P Q N, disposé comme il a été dit : on verse dans la branche P une solution de chlorure de magnesium et dans l'autre une solution de phosphate d'ammoniàque. Si la pile est composée d'une douzaine d'éléments, la magnésie est transportée dans le tube négatif et y forme un double phosphate de magnésie et d'ammoniaque qui se précipite peu à peu sans aucune apparence de cristallisation ; mais si le phosphate d'ammoniaque est dissous dans l'acide nitrique, il n'en est plus de même : la cristallisation s'effectue sans difficulté.

§ IV. *Des produits qui se forment journellement dans les tourbières.*

1128. La tourbe qui est formée de débris de substances herbacées ou d'autres végétaux en décomposition, étant d'une formation moderne ou peu ancienne, donne naissance à divers composés qui rentrent dans le cercle de nos investigations, puisque ces décompositions résultent du contact d'un grand nombre de corps.

On distingue deux espèces de tourbe, les tourbes des marais et les tourbes marines. Les premières constituent

deux variétés, la tourbe fibreuse composée de végétaux fibreux déterminables, et la tourbe limoneuse, compacte, qui ne conserve aucune trace de débris de végétaux.

1129. La tourbe des marais se trouve, comme son nom l'indique, dans les parties basses qui ont servi de fond d'étang ou de lac d'eau douce et est recouverte d'un mètre au plus de terre végétale : elle renferme ordinairement des substances minérales, des débris de corps organisés qui, en réagissant sur les substances environnantes, produisent des pyrites, du phosphate de fer pulvérulent qui enveloppe quelquefois les racines ou les tiges des végétaux dont se compose ce combustible. On y rencontre aussi des couches de sable et de marne qui ont été déposées par les alluvions, des coquilles fluviatiles dont les animaux ont été décomposés, des armes, des outils, etc.

1130. Les tourbes en général ne se forment qu'autant que le terrain inférieur est argileux, et que le sol a une disposition telle, que l'eau s'y renouvelle peu à peu, quoiqu'il soit constamment humide. On a remarqué que la nature calcaire, gypseuse ou argileuse des roches qui exercent une certaine influence sur la pureté de l'eau et sur les propriété de celle des végétaux, peut s'opposer à la formation de la tourbe ou la favoriser.

Les conferves, les prêles et les charras, ainsi que plusieurs graminées à tige rampante, sont les plantes qui contribuent le plus à la formation de la tourbe.

1131. Les marnes marines sont celles dans lesquelles on trouve des végétaux marins et des corps organisés marins. Il existe aussi des tourbes sous-marines, qui sont formées quelquefois d'une grande accumulation de végétaux ligneux, d'arbres et de plantes qui croissent dans les forêts. Elles renferment aussi des débris d'animaux terrestres.

1132. La tourbe pyriteuse du département de l'Aisne est remarquable sous le rapport de quelques composés qui se forment souvent en peu de temps. Des observa-

tions suivies ont été faites à cet égard par M. Poiret (1). Cette tourbe, qui est plus ou moins compacte, est pénétrée de sulfure de fer qui s'enflamme spontanément à l'air et donne naissance à une grande quantité de sulfate de fer. Les couches qui la composent sont régulières et horizontales et alternent avec des lits de marne et d'argile; elles reposent sur un fond marécageux et renferment un grand nombre de coquilles fluviatiles dont les analogues se retrouvent vivants dans les étangs et les rivières environnantes. Les couches supérieures renferment quelquefois, au lieu de tourbe, des lits entiers de charbons fossiles, quelquefois pyriteux. Dans celles qui recouvrent la tourbe on trouve des couches alternatives de marne, de sable, d'argile et de terre végétale, un grand nombre de coquilles marines isolées, des bancs d'huîtres, la plupart réduites en poussière et en fragments.

1133. Dans cette tourbe on trouve confondus ensemble des bois fossiles, des troncs entiers d'arbres quelquefois pyriteux à l'endroit des nœuds, des bois pétrifiés, beaucoup de pyrites, du succin de diverses couleurs, des os fossiles, des cristaux de quartz, des roches calcaires, diverses substances minérales, des ocres, du cuivre, du zinc probablement à l'état de sulfures, du sulfate de soude, de l'alun, des cristaux de gypse, qui acquièrent un volume assez considérable dès l'instant que les marnes qui les renferment sont exposées au contact de l'air. Elles sont ordinairement noirâtres, sulfureuses et un peu humides. Voilà un grand nombre de formations modernes qui doivent attirer l'attention de l'électro-chimiste.

On conçoit parfaitement qu'il a dû s'opérer une foule de réactions dans un tel agglomérat de substances diverses. Considérons d'abord les substances végétales :

1134. Les plantes réunies en tas à l'air libre éprouvent, par l'effet de l'eau, de l'air et de la chaleur, une

(1) Journ. de Phys., t. LI, p. 362.

décomposition telle qu'il se dégage de l'hydrogène et du gaz acide carbonique. Il se forme en même temps des huiles, des résines, etc. Il se sépare des végétaux, du carbone, de la silice et des sels. Quand les plantes sont recouvertes d'eau, et communiquent difficilement avec l'air, les effets sont beaucoup plus lents : la plupart des éléments gazeux sont encloisonnés dans les dépôts vaseux des marais ; les sels solubles sont enlevés, tandis que le carbone reste en abondance et constitue la masse de la tourbe.

1135. La tourbe pyriteuse est pénétrée de toute part de sulfure de fer qui est cristallisé, surtout dans les coquilles, dans les fentes ou les cavités des bois fossiles. Cette tourbe pyriteuse ne renferme point de bitume, ce qui tendrait à faire croire que la pyrite dépend de la réaction du bitume sur le sulfate de chaux qui a fourni le soufre au fer répandu dans la masse.

Quand les tourbes pyriteuses sont exposées à l'air, il s'établit une espèce de fermentation par suite de la réaction de l'air et de l'eau sur les deux éléments de la pyrite. Il se sublime du soufre qui cristallise en filaments capillaires à sa surface et se dégage de l'hydrogène sulfuré : en définitive les pyrites sont transformées en peroxide de fer. L'acide sulfurique, en réagissant sur l'argile, produit de l'alun, et sur le calcaire, du sulfate de chaux.

1136. Sage a observé dans du terreau de 3 ans, qui n'avait pas encore servi à la végétation, une grande quantité de cristaux de quartz dont il a pu suivre le développement ; ainsi donc les particules de silice qu'abandonnent lentement les végétaux en décomposition, peuvent se grouper régulièrement, parce qu'elles se trouvent alors à l'état naissant, c'est-à-dire dans la position la plus favorable, soit pour entrer en combinaison, soit pour cristalliser.

1137. Davy, dans l'examen qu'il a fait des manuscrits sur papyrus trouvés à Herculanum (1), a reconnu qu'ils

---

(1) Annal. de Ch. et de Phys., t. x, p. 414.

n'ont pas été carbonisés par l'opération du feu, et qu'ils se trouvent dans un état analogue à celui à la tourbe. Leurs feuilles, en général, sont réunies par une substance particulière produite dans une longue suite de siècles par la fermentation et les changements chimiques de la matière végétale dont ils se composaient. Guidé par ces vues théoriques, il est parvenu à découvrir la nature de cette substance et a fini par trouver une méthode à l'aide de laquelle il a séparé les fragments sans altérer les caractères ainsi que la contexture des manuscrits.

1138. Nous avons vu que dans les tourbières il se forme journellement du phosphate de fer et des pyrites. Nous allons revenir sur ces formations qui intéressent l'électro-chimie.

1139. Le fer est capable de se combiner, en vertu d'actions lentes, avec l'acide phosphorique des matières animales et le soufre qui provient de la décomposition de l'acide sulfurique.

Nous allons rapporter quelques exemples de ces décompositions, en indiquant en même temps comment on peut les obtenir en employant l'action combinée des affinités et de l'électricité.

Il y a quelques années, à Saint-Yrieix, on a déblayé les terres qui avaient servi à combler, il y a plusieurs siècles, un des fossés de la ville, et dans lesquelles se trouvaient entassés pêle-mêle des ossements d'animaux, des troncs d'arbres, des débris de végétaux et des fragments de gneiss. La plupart des débris de végétaux étaient entièrement recouverts de cristaux microscopiques, blanchâtres, de fer phosphaté, qui, au contact de l'air, prirent une couleur bleu indigo.

1140. Le bois sur lequel était déposé ce fer phosphaté était entièrement carbonisé; il avait servi évidemment de point de départ pour la formation de ce composé. Il faut donc qu'une cause quelconque ait attiré le fer et l'acide phosphorique. Cette simple observation nous a mis sur la voie pour reproduire le phosphate bleu. Dans les diverses réactions chimiques qui ont eu

lieu dans le magma, il y a eu dégagement continuel des deux électricités, lesquelles, pour reformer du fluide neutre, ont suivi les corps les plus conducteurs en contact avec les particules agissantes, et particulièrement les substances carbonisées, qui dès lors ont servi à fixer quelques-uns des éléments. D'un autre côté, quand on abandonne à l'action spontanée une lame de fer plongée dans une dissolution de phosphate d'ammoniaque, le fer s'oxide, et décompose le phosphate ammoniaque; l'alcali est mis à nu, et il se forme un perphosphate blanc de fer; mais si, au lieu d'une plaque de fer, on soumet à l'expérience un couple voltaïque formé d'une lame de cuivre et d'une lame de fer, il se forme également du perphosphate, et en outre une petite quantité de phosphate bleu, mais seulement dans la partie la plus rapprochée des points de contact du fer et du cuivre. Ce phosphate est en très-petits cristaux d'un beau bleu, dont la couleur est masquée par le perphosphate blanc, qui se décompose. La formation de ce dernier est due aux actions combinées du phosphate d'ammoniaque, de l'eau et de l'air sur le fer; tandis que celle du phosphate bleu provient évidemment d'une action électrique. Rien n'est plus simple que de donner un plus grand développement à la formation de ce phosphate et de l'obtenir dégagé du perphosphate qui masque sa couleur. Prenons un tube recourbé en U, rempli dans sa partie inférieure d'argile légèrement humectée; dans une des branches versons une solution de phosphate de soude, et dans l'autre une solution de sulfate de cuivre; puis dans celle-ci plongeons une lame de cuivre et dans l'autre une lame de fer, et faisons-les communiquer ensemble par la partie supérieure. Le fer est le pôle positif d'un couple voltaïque, et le cuivre le pôle négatif; celui-ci décompose le sulfate, attire le cuivre, tandis que l'oxigène et l'acide sulfurique se transportent dans l'autre branche. L'oxigène oxide le fer; l'acide sulfurique en se combinant avec la soude chasse l'acide phosphorique : il en résulte du sulfate de soude, qui reste dissous, et

du protophosphate de fer qui se dépose sur la lame de fer, sous la forme de petits tubercules cristallins, blanchâtres, lesquels deviennent d'un beau bleu par l'action prolongée de la pile, ou bien en les exposant à l'air; ils possèdent en outre les propriétés du phosphate bleu naturel. Cette réaction n'a lieu qu'autant que l'action est lente, circonstance indispensable pour que les molécules prennent un arrangement cristallin; car si l'on veut accélérer l'action en mettant la lame de fer en communication avec le pôle positif d'une pile d'un certain nombre d'éléments, et la lame de cuivre avec le pôle négatif, on n'obtient alors que le phosphate de fer ordinaire. D'après cela, une condition indispensable à la formation du phosphate bleu est une réaction lente.

On voit maintenant comment la nature a dû agir pour produire le phosphate de Saint-Yrieix et des gisements analogues; pour peu que les matières carbonisées aient été mises en contact avec le fer ou son protoxide, il en est résulté des piles analogues aux précédentes. L'expérience suivante montrera comment agissent les corps organisés. Nous avons mis une pyrite efflorescente entourée d'un fil dans une soucoupe contenant une solution de phosphate de soude. Les réactions n'ont pas tardé à se manifester. Il s'est formé du sulfate de fer, du perphosphate blanc de fer, et dans les parties du fil qui adhéraient à la paroi de la soucoupe, de petits tubercules cristallins de phosphate bleu.

Dans la même localité, nous avons fait une remarque qui n'est pas sans quelque importance pour la géologie et la minéralogie.

1141. On a vu précédemment qu'on avait trouvé dans les déblais une grande quantité de fragments de gneiss, en partie décomposés; cette décomposition a eu lieu dans le sens des couches. En examinant avec attention les surfaces mises à découvert, on a vu que les lames de mica étaient recouvertes de phosphate de fer bleu lamellaire, de sorte que, si l'on n'eût pas été pré-

venu que ce composé se trouvait en abondance dans cette localité, on aurait cru avoir découvert une nouvelle variété de gneiss. En enlevant ces lames bleues et les traitant par l'acide sulfurique, toute la matière bleue s'est dissoute, et il n'est plus resté que des lamelles blanches, incolores, de mica. Il faut conclure de ce fait que le phosphate de fer a été formé par la réaction des dissolutions renfermant des phosphates alcalins ou terreux sur le fer du mica qui a été enlevé à la manière des cémentations. L'action capillaire des fissures a produit ici les mêmes effets que ceux que nous avons fait connaître dans la réduction des oxides de cobalt et de nickel dans des tubes de verre à petits diamètres.

1142. M. Fournet a eu occasion d'observer aussi des faits semblables à Pontgibaud, département du Puy-de-Dôme. Le dépôt qui renferme le phosphate de fer paraît avoir servi de lit à un ancien lac. Dans une fouille dont M. Fournet fut témoin, on trouva sous la terre végétale proprement dite un dépôt très-profond d'une sorte d'argile verdâtre, sale, sableuse, extrêmement chargée de fibrilles végétales et surtout de mica en petites paillettes d'un jaune sale, qui lui ôtaient sa cohérence en lui communiquant une texture un peu schisteuse. Ce dépôt était très-imbibé d'eau qui se réunit naturellement dans la fosse. Elle passe pour malsaine, impotable, fétide et susceptible de se colorer en vert; au moins c'est ce qui a été dit plusieurs fois à M. Fournet par des personnes qui avaient tenté de creuser des puits dans le voisinage et qui l'avaient déjà rencontrée à la profondeur de 3 ou 4 pieds.

C'est dans cette argile micacée que sont disséminées très-abondamment des taches de phosphate de fer d'un beau bleu, nuance qu'il conserve à l'air. Quelquefois ce composé paraît revêtir la surface interne de petites géodes qui, à en juger par leur forme arrondie, peuvent être considérées comme le résultat de soufflures produites par l'expansion de quelque gaz. M. Fournet n'a pas remarqué que la fibre végétale ait été plus spécialement imprégnée

de cette substance minérale; elle lui a paru seulement fortement décolorée. Le phosphate de fer, en se desséchant, devenait terreux sans perdre l'intensité de sa nuance.

1143. Sage a décrit aussi un phosphate de fer, trouvé à Luxeuil, dans un ancien canal de construction romaine, au milieu d'une espèce de tourbe ligneuse, d'ossements altérés, presque friables, et pénétrés d'oxide de fer; les cristaux étaient assez gros pour qu'il ait pu en déterminer la forme. Toutes ces substances ayant réagi les unes sur les autres, depuis un grand nombre de siècles, il n'est pas étonnant que les cristaux aient acquis plus de volume que ceux qui ont été trouvés à Saint-Yrieix.

1144. Les pyrites se forment très-fréquemment dans les tourbières, et quelquefois dans les tuyaux de conduite de certaines eaux minérales; nous devons donc nous arrêter quelques instants sur cette formation qui fait partie des actions lentes.

Le proto-sulfure de fer que l'on trouve quelquefois dans la nature est composé d'un atome de fer et d'un atome de soufre, c'est-à-dire que ces deux éléments s'y trouvent dans la même proportion que dans le proto-sulfate de fer; il résulte de là que si ce sel est en contact avec des corps très-avides d'oxigène, qui puissent désoxider en même temps l'acide sulfurique et le protoxide de fer, il se forme un proto-sulfure.

M. Fournet a trouvé des cristaux de ce sulfure sur un morceau de fer provenant de l'arbre tournant d'une roue hydraulique, où il servait à fixer le tourillon. On était dans l'usage d'enduire l'axe de matières grasses purifiées par l'acide sulfurique; ainsi la réaction de ces matières et de l'acide sulfurique sur le fer a déterminé la formation des pyrites : quelques années ont suffi pour cela.

Il faut donc que la matière organique ait désoxidé l'acide sulfurique, de manière à offrir le soufre au fer; mais comme la surface du métal était recouverte de petits cristaux de pyrites, les molécules de celles-ci ont dû se déposer à mesure qu'elles se formaient.

1145. Dans une ancienne galerie de mine de Pontgibaud, abandonnée depuis un temps immémorial, on a trouvé un ancien outil de mineur, qui était recouvert de cristaux microscopiques de proto-sulfure de fer, qui se sont décomposés peu à peu à l'air. On ignore entièrement la nature des substances qui, en réagissant sur le fer, ont pu leur donner naissance.

1146. Nous avons annoncé précédemment que les pyrites se formaient dans les eaux thermales; nous allons en citer quelques exemples : M. Longchamp a eu occasion d'examiner un dépôt recueilli dans le conduit de la principale source des eaux thermales de Chaudesaigues. Ce dépôt était mammelonné et crevassé, et sa surface était d'un rouge brun ayant l'aspect du peroxide de fer. En brisant le morceau on apercevait des plaques de fer sulfuré. Ce dépôt, comme on voit, était composé presque entièrement de pyrites. Nous ajouterons, pour l'intelligence de ce fait, que les sources sortent des roches à travers les fissures d'un filon de quartz, lesquelles sont tapissées de sulfure de fer. La température de la source est de 88 degrés centigrades.

Comment ces pyrites ont-elles été formées ? M. Longchamp s'est adressé à lui-même cette question. Il regarde comme probable que ce composé a pris naissance dans les eaux minérales ; mais on ne conçoit pas comment cela a pu avoir lieu, puisque l'analyse de ces eaux ne donne aucun des éléments de la pyrite.

1147. A Bex, en Suisse, dans une des galeries de communication de la saline, nous avons trouvé un magma très-humide rempli de petites pyrites et dont l'analyse a donné la composition suivante :

Sable	26
Carbonate de chaux	5
Sulfate de fer	42
Sulfate de chaux	21
	94

les 6 autres centièmes se composaient de quelques pyrites et de matière organique. Nous devons faire observer que la majeure partie des pyrites avaient été enlevées préalablement.

Nul doute que les pyrites n'aient été formées dans la réaction de la matière organique sur le sulfate de fer, réaction qui a enlevé à l'acide sulfurique et au protoxide de fer leur oxigène. Les cristaux de sulfate de soude, qui ont été recueillis dans les salines de Bex, renfermaient notablement du sulfate de chaux. Nous avons trouvé aussi, dans la même localité, des dépôts renfermant 11 $\frac{1}{2}$ pour cent de soufre, puis le reste presque entièrement formé de carbonate de chaux mêlé d'un peu de sulfate de même base et de carbonate de magnésie.

1148. Nous sommes parvenu à former des pyrites (persulfure de fer) ayant la forme de dodécaèdres à base pentagonale, en abandonnant aux actions spontanées un mélange de sulfate de fer, de sulfate de chaux et d'huile, dans des proportions que nous ne pouvons assigner, attendu que dans l'origine nous n'avions pas l'intention de produire cette substance.

L'opération a duré 4 ou 5 ans. Quelques cristaux ont 2 millimètres d'étendue. L'électro-chimie peut obtenir aussi du sulfure de fer cristallisé (848) en formant d'abord un double hypo-sulfite alcalin et de fer que l'on décompose en faisant fonctionner, pendant quelques mois, un courant électrique provenant d'un seul couple voltaïque, disposé convenablement.

On sait que l'on obtient le persulfure de fer en exposant l'hydrate de peroxide dans un courant de gaz hydrogène sulfuré à une température au-dessus de 100°. Si l'on substitue à l'hydrate des cristaux naturels de protocarbonate de fer, ces derniers se décomposent sans perdre leur forme : on obtient alors un sulfure de fer sous une forme qui n'est pas la sienne. Le cristal conserve toujours ses clivages. Nous faisons mention de cette épigénie, parce qu'elle se présente d'une manière inverse dans la nature. Il n'est pas rare de trouver du sulfure de fer

transformé en peroxide sans que la forme soit changée. Cette transformation s'effectue principalement dans les cristaux qui renferment de l'or; aussi est-on porté à croire que ce dernier métal exerce une influence sur cette espèce de métamorphose : mais comment se fait-il que le soufre soit enlevé entièrement par un effet de cémentation en même temps qu'il arrive de l'extérieur de l'oxigène pour remplacer ce corps? C'est ce qu'il nous est impossible d'expliquer.

1149. Pour compléter ce que nous avons à dire sur le sulfure de fer, nous ajouterons que le fer et le soufre commencent à réagir l'un sur l'autre à la température ordinaire, quand ils sont en même temps en contact avec l'eau et l'air : il en résulte ordinairement du sulfate. Si l'expérience a lieu en vaisseau clos, on a un mélange de sulfure de fer et de proto-sulfate du même métal. Cette action entre le soufre et le fer tient à deux choses, à l'affinité de ces deux corps pour le soufre et à celle de l'acide formé pour l'oxide.

1150. Puisque nous parlons de la réaction des végétaux et de diverses substances sur les matières animales, nous devons parler des observations curieuses que M. Pelouze a faites sur des ossements humains soumis à des réactions chimiques.

On a trouvé à Laon, dans un tombeau, le squelette d'un évêque posé sur des barreaux de fer; les os avaient éprouvé un genre de décomposition tel, que leur surface était recouverte de cristaux qui ont donné à l'analyse de M. Pelouze 25 pour cent d'une matière azotee, 75 centièmes de phosphate de chaux basique, présentant la même composition que celle des os. Ils ne renfermaient pas la plus petite quantité de carbonate de chaux. La plupart de ces cristaux étaient colorés en violet par suite de la présence du phosphate de manganèse. D'où vient le manganèse? Comment a agi le fer sur lequel était déposé le squelette pour déterminer la formation des cristaux de phosphate de chaux? C'est ce que nous n'entreprendrons pas d'expliquer, nous énonçons seulement le fait.

§ V. *Exemples remarquables de décompositions produites par cémentation.*

1151. Nous avons déjà fait connaître, d'après M. Haidinger, plusieurs faits qui prouvent que les substances cristallisées se forment quelquefois par un changement graduel de composition, sans que les formes extérieures de celles qui leur ont donné naissance éprouvent le moindre changement. Nous allons revenir sur ces pseudomorphoses, afin de montrer toute la fécondité du principe que nous avons exposé.

Commençons par la chaux sulfatée épigène; la chaux sulfatée anhydre prend à l'air une certaine quantité d'eau, sans pour cela changer de forme. Des sels deviennent déliquescents en absorbant de l'eau; d'autres efflorescents en perdant de cette eau de cristallisation. Des cristaux de proto-sulfate de fer, plongés dans l'alcool bouillant, sont décomposés, tout en conservant leur forme extérieure.

1152. On trouve à Chessy des cristaux de cuivre carbonaté bleu recouverts de cuivre carbonaté vert fibreux : on suit très-bien les passages successifs qui indiquent que les cristaux, dans l'origine, étaient privés d'eau. Dans cette transformation le cuivre carbonaté bleu perd une portion de son acide carbonique qui est remplacé par une quantité d'eau correspondante.

Les cristaux octaèdres de cuivre oxidulé présentent les mêmes effets; on trouve ordinairement au milieu des cristaux de protoxide de cuivre.

1153. Le cuivre sulfuré prismatique et les pyrites cuivreuses, tout en conservant leur forme, éprouvent des changements graduels.

1154. Le fer spathique se change peu à peu en hydrate de peroxide, et se présente sous la forme d'une masse terreuse brunâtre. Le persulfure de fer naturel se change en hydrate sans que la forme soit altérée. Le plomb participe à des changements analogues; le plomb sulfuré

héxaèdre, composé d'un atome de plomb et de deux atomes de soufre, est transformé en sulfate de plomb, dans lequel le plomb et le soufre sont dans les mêmes proportions.

1155. On a trouvé aussi des échantillons de sulfure de plomb qui ne présentaient plus qu'un mélange de carbonate et de sulfate du même métal.

On sait aussi que le plomb phosphaté se change en plomb sulfuré; le clivage est celui qui convient à la galène, il est cubique.

1156. Les oxides de manganèse participent également aux mêmes changements. Le double carbonate de chaux et de baryte, composé d'un atome de chacun de ces composés, passe quelquefois à l'état de sulfate de baryte. Le carbonate de baryte se décompose d'une manière analogue; l'antimoine natif, en absorbant l'oxigène de l'air, se recouvre d'une couche blanchâtre d'oxide d'antimoine plus ou moins profonde. De même, le sulfure d'antimoine qui appartient au système prismatique et qui est composé d'un atome de métal et de trois atomes de soufre, se décompose, se change peu à peu en oxisulfure hydraté; la forme reste toujours la même. Les cristaux de carbonate de chaux sont souvent enlevés des substances qui les recèlent par suite des influences atmosphériques; la place laissée vide par ces cristaux est remplie par d'autres cristaux.

1157. Dans le Sommerset-shire, on trouve la calamine sous la forme des cristaux métastatiques de chaux carbonatée. Cette substance paraît avoir remplacé peu à peu la chaux, et non s'être déposée dans un moule. On observe souvent que le quartz remplace les cristaux de chaux carbonatée, de chaux fluatée et de gypse. M. Haidinger, qui a beaucoup étudié ces sortes de produits secondaires, pense que la silice ne s'est pas déposée dans les cavités comme dans un moule, et que le remplacement a eu lieu par une décomposition successive. Le fait suivant est de nature à montrer que toutes ces décompositions s'opèrent souvent par des actions analogues à la

cémentation, à laquelle nous attribuons une origine électrique.

M. Darcet avait laissé, à la Monnaie de Paris, une lame d'acier pendant 8 ans, dans une armoire, en contact par un de ses bouts avec une solution de nitrate d'argent, qui arrivait très-lentement; elle sortait par une fissure d'un vase qui la contenait. Une moitié de cette lame s'est changée entièrement en argent très-pur, présentant une masse résistante, sans la moindre trace de fer. Le volume de cette lame d'argent était visiblement le même que celui de la lame d'acier. Cet effet singulier a dû se produire par des actions semblables à celles qui ont changé des monnaies de bronze antiques en protoxide de cuivre.

Nous citerons encore un exemple, auquel nous attachons une certaine importance, parce que les forces électro-chimiques y ont joué un rôle quelconque.

Nous avons dit (543) que pour obtenir le sulfure d'argent cristallisé en octaèdres, il fallait commencer par former le double hyposulfite de potasse et d'argent et le soumettre ensuite à une décomposition lente, en faisant arriver de l'oxigène dans la dissolution, avec une pile très-faible, qui réagît en même temps sur l'hyposulfite d'argent, pour lui enlever son oxigène; ces deux actions donnent naissance à un hyposulfate de potasse et à un sulfure d'argent qui cristallise en octaèdres dans l'espace d'un mois. Maintenant, si l'on ralentit encore l'action du courant, par un procédé que nous indiquerons, en exposant à des actions lentes les composés électro-chimiques que l'on peut obtenir avec l'argent et les autres corps, il se produit un autre effet. Le fil d'argent qui se trouve dans le tube positif, où se forme le double hyposulfite, se recouvre de cristaux qui paraissent être des prismes droits quadrangulaires, terminés de chaque côté par des sommets. Il arrive quelquefois que ces cristaux sont redissous à fur et mesure que le double hyposulfate se produit, et il se forme en même temps du sulfure d'argent; souvent aussi les cristaux ne changent pas de forme, quoique la substance dont ils sont formés se décompose insensible-

ment. Cet effet a lieu aussi quand on abandonne à des actions spontanées le double hyposulfite. Voici ce qui se passe dans ce cas : l'hyposulfite de potasse se change en hyposulfate, aux dépens de l'oxigène de l'hyposulfite d'argent et de celui qui lui est apporté par le courant; puis cet hyposulfate vient cristalliser sur la surface des cristaux, sans que ceux-ci aient changé de forme; de sorte que lorsque l'opération est terminée, ces derniers ne renferment plus que du sulfure d'argent, qui est sous une forme différente de celle qu'il affecte ordinairement. C'est donc une véritable pseudomorphose, analogue à celle que l'on trouve dans la nature. Ce fait montre encore que la cémentation peut avoir une origine électrique.

1158. M. Guyton Morveau (1), en soumettant à l'action d'une pile de 64 couples, cuivre et zinc, chargée avec une forte solution de chlorure de sodium, différents minéraux, a obtenu également des effets de pseudomorphoses.

Un fragment de sulfure d'antimoine ayant été placé dans un vase de verre rempli aux deux tiers d'eau distillée, et la communication établie avec la pile au moyen de deux lames de platine, aussitôt que l'action fut commencée, on sentit une légère odeur d'hydrogène sulfuré; deux heures après elle était très-marquée, et la liqueur avait pris une nuance jaune. La surface du fragment de sulfure d'antimoine paraissait avoir un aspect jaune plus foncé et comme irisé. On reconnut, à l'aide d'une solution d'acétate de plomb, qu'il s'était formé un sulfate, puisque l'on obtint un précipité blanc. La lame négative était noire, et l'autre était recouverte d'un léger encroûtement jaune. Le fragment de sulfure ayant été retiré après 8 heures d'expérience, on fit sécher la poussière dont il était recouvert : elle présenta la nuance jaune-rougeâtre de l'oxide de plomb natif. Le cristal avait à peu près perdu son éclat métallique.

Cette décomposition n'était que superficielle : il est

(1) Annales de Chimie, t. LXIII.

probable que si on eût agi pendant des mois entiers, des années, on aurait fini par décomposer entièrement tout le sulfure.

Le persulfure de fer a été soumis au même mode d'investigation, dans l'espoir d'obtenir des cristaux de peroxide de fer ayant la forme de persulfure. M. Guyton a cherché à produire cet effet, non-seulement sur la pyrite de fer, mais encore sur la mine d'argent gris appelée fahlerz.

L'expérience ayant été disposée comme précédemment, on a senti aussitôt l'odeur de l'hydrogène sulfuré, la liqueur s'est troublée, et les lames de platine se sont colorées comme précédemment. L'eau précipitait par l'acétate de plomb, les sulfures avaient perdu leur cohérence, et leur surface était recouverte de pellicules de couleur terne et sans éclat.

Guyton a observé un fait assez remarquable avec le sulfure de fer dont l'altération à la surface était très-marquée. Les conducteurs ayant été placés avant que l'eau fût mise dans le vase, le sulfure s'enflamma vivement par suite du grand état de division de ses parties superficielles.

On voit donc que le sulfure d'antimoine brillant cristallisé passe à l'état d'oxide jaune, sans perdre sensiblement sa forme extérieure.

Nous allons reprendre, dans le chapitre suivant, les phénomènes relatifs à l'action de l'électricité voltaïque sur les substances insolubles.

CHAPITRE VI.

DE L'ACTION DE L'ÉLECTRICITÉ A FORTE ET A FAIBLE TENSION SUR LES SUBSTANCES INSOLUBLES.

§ I^er. *Effets produits par l'électricité à forte tension.*

1159. Nous avons montré jusqu'ici comment et dans quelles circonstances les courants électriques intervenaient pour opérer la séparation des éléments, des composés dissous dans un liquide. Nous allons maintenant montrer comment les mêmes courants, soit qu'ils proviennent d'un appareil voltaïque composé, ou d'un seul élément, peuvent retirer des substances insolubles plusieurs des éléments qui entrent dans leur composition.

Nous avons vu précédemment (1158) que Guyton-Morveau était parvenu à opérer les décompositions du sulfure d'antimoine, en le soumettant dans l'eau à l'action d'un courant voltaïque. Davy a repris ce mode de décomposition et a enrichi la science de faits nouveaux.

1160. Ayant soumis à l'action de la pile, au moyen de deux fils d'or, deux portions séparées d'eau distillée renfermées dans deux tubes de verre, communiquant ensemble au moyen d'une substance animale ou végétale humide, il obtint une dissolution d'or dans le tube positif et une dissolution de soude dans le tube opposé. Le chlore était fourni par le sel marin du verre ou par les substances organiques. Quant à l'alcali, il provenait

du verre, puisqu'il était corrodé au point de son contact avec le fil d'or.

1161. Si, au lieu de tube de verre, on employait des vases de cire, on obtenait du côté négatif un mélange de soude et de potasse, et du côté positif un mélange des acides sulfurique, hydrochlorique et nitrique. Avec de la résine, la matière alcaline a paru être composée principalement de potasse.

1162. Davy ayant mis de l'eau distillée dans une cavité pratiquée dans un morceau de marbre blanc et dans un creuset de platine, l'une et l'autre communiquant avec de l'asbeste, le creuset fut mis en rapport avec le pôle positif et la cavité avec le pôle négatif. L'eau de celle-ci acquit bientôt le pouvoir d'affecter la couleur de curcuma par suite de la présence de la soude et de la chaux; la soude ne parut plus après 11 opérations de 2 heures chacune. Davy en tira la conséquence que le marbre blanc avait été exposé à l'eau de mer.

Ayant soumis à l'action de la pile diverses substances minérales, il trouva toujours de la soude, de sorte qu'il paraît qu'il existe peu de pierres qui ne contiennent quelques portions de matières salines. On conçoit la possibilité de ce mélange, quand on considère que la plupart des roches portent des marques évidentes de leur ancien séjour au-dessous de la mer.

1163. Deux coupes de sulfate de chaux compacte remplies d'eau et en communication avec du sulfate de chaux humide furent mises en rapport avec une batterie voltaïque de 100 couples. Au bout d'une heure, la coupe négative renfermait une solution pure et saturée de chaux, et l'autre une solution assez forte d'acide sulfurique.

Avec le sulfate de strontiane les résultats furent les mêmes, quoique beaucoup plus longs à obtenir.

Le fluate de chaux, dans les mêmes circonstances, fut également décomposé.

Le sulfate de baryte éprouva beaucoup plus de difficulté dans sa décomposition que les deux substances précédentes. Il se forma, du côté négatif, du carbonate de baryte.

Un basalte dans lequel l'analyse avait donné sur 100 parties 3 $\frac{1}{2}$ de soude et $\frac{1}{2}$ partie d'acide hydro-chlorique avec 15 parties de chaux, ayant été soumis à l'expérience pendant dix heures, du côté négatif il s'est manifesté une forte odeur de chlore et de l'autre côté on a trouvé un mélange de chaux et de soude.

La lépidolithe a donné de la potasse.

Une lave vitreuse de l'Etna, un mélange de soude, de potasse et de chaux.

1164. Davy ayant pris un tube de verre qui pesait 84 grains $\frac{56}{128}$; le mit en communication au moyen d'asbeste avec une coupe d'agate, l'un et l'autre remplis d'eau distillée et soumit le tout à l'action d'une pile de 150 couples, le tube communiquant avec le pôle négatif. Au bout de quatre jours, l'eau devint très-alcaline et donna par l'évaporation de la soude mêlée avec une poudre blanche insoluble dans les acides. Le tout pesait $\frac{36}{128}$ grains, le tube ne pesait plus que 84 $\frac{37}{128}$. Davy reconnut que l'asbeste avait été aussi attaqué, ce qui explique la différence.

1165. M. Crosse, dans ces derniers temps, a employé les courants provenant de pile à grand nombre d'éléments et chargées avec de l'eau pure, pour décomposer des substances insolubles et former des composés analogues à ceux qu'on trouve dans la terre, question dont nous nous occupons depuis huit ou dix ans, en nous servant seulement d'électricité à faible tension. Les seuls renseignements circonstanciés qui soient parvenus à notre connaissance sur les travaux de ce physicien, sont dus à M. Richard Philips (1), qui a vu fonctionner les appareils. Voici la description qu'il fait de quelques-uns d'entre eux :

1. Une batterie de 100 paires, de 25 pouces carrés, chargée avec de l'eau, agissait sur des coupes contenant 1 once de carbonate de baryte et de sulfate d'alumine,

(1) Annals of Electricity, Magnetisme and Chemistry, janvier 1836.

dans le but d'obtenir du sulfate de baryte au pôle positif et des cristaux d'alumine au pôle négatif.

2. Une batterie de 11 paires cylindriques, de 12 pouces sur 4, agissant pendant six mois sur du fluo-silicate d'argent, a produit de grands cristaux hexaèdres d'argent au pôle négatif, des cristaux de silice et de la calcédoine au pôle positif.

3. Une batterie de 100 paires, de 5 pouces carrés, opérant sur du nitrate d'argent et de cuivre a produit de la malachite au pôle positif; au pôle négatif, des cristaux qui paraissaient avoir des angles et des faces appréciables: il est très-probable que l'on a pris du sous-nitrate de cuivre pour de la malachite.

4. La batterie regardée comme sa meilleure était composée de 813 paires, de 5 pouces, isolées sur des plateaux de verre reposant sur des barres de bois cimentées et si légèrement oxidées par l'eau qu'on n'avait besoin de la nettoyer qu'une ou deux fois par an. M. Philips, en essayant l'effet de 458 paires, placées sans ordre, n'a éprouvé que quelques commotions dans les doigts, mais son pouvoir a suffi pour produire des effets bien marqués sur les minéraux, dans le cours de quelques semaines.

5. Une batterie composée de plaques semi-circulaires, de 1 $\frac{1}{4}$ pouce de rayon, placées sur des plateaux de verre, et agissant pendant cinq mois à travers une brique poreuse sur une solution de silice dans la potasse, a donné naissance à de petits cristaux de quartz.

6. Une batterie de 30 paires, de même grandeur que les précédentes, agissant depuis le 27 juillet, sur un mélange de 205 grains de sulfate de plomb, d'oxide blanc, d'antimoine, de sulfate de cuivre, de proto-sulfate de fer et de trois fois la même quantité de verre commun, a donné sur le fil négatif du cuivre pur en deux jours, et des pyrites de fer cristallisé en quatre jours. On espérait obtenir des sulfures de plomb, de cuivre et d'antimoine, en enlevant l'oxigène aux sulfates.

M. Crosse évite d'employer des liquides acides ou salés pour faire fonctionner ces appareils; en les chargeant

avec de l'eau pure, ils peuvent conserver leur énergie sans altération sensible pendant une année.

Il a obtenu le double sulfure d'argent et d'antimoine, de l'arséniate de cuivre cristallisé.

Ayant remarqué que dans les montagnes de Quantock il existait du spath calcaire incrusté dans la pierre à bâtir et de l'arragonite dans du schiste argileux, il en a conclu que ces minéraux avaient été formés par l'eau qui filtrait dans ces roches; ayant recueilli de cette eau, il la soumit à l'action d'un de ses appareils pendant dix jours, et parvint, par ce moyen, à produire des substances semblables à celles que nous venons de citer. Il a cru reconnaître dans le cours de ses expériences que la lumière nuisait à la perfection des cristaux, attendu qu'il a obtenu dans une période plus courte et avec un pouvoir électrique plus faible les mêmes produits à l'ombre. En soumettant à l'expérience de l'acide fluorique-silicé, il a obtenu des cristaux de quartz. En suivant le développement de ces cristaux, il a commencé à apercevoir un hexagone, ensuite des lignes radiées partant de son centre, puis des faces se sont formées parallèlement aux côtés. Quelques mouvements survenus dans l'opération ont fait naître un second cristal, qui a formé hémitropie avec le premier.

§ II. *De l'action des courants produits par de l'électricité à faible tension sur les substances insolubles.*

1166. Jusqu'ici on a fait usage, pour décomposer les substances insolubles, de courants électriques produits par des appareils composés d'un nombre plus ou moins considérable d'éléments; mais on peut arriver au même but en employant simultanément les affinités et l'action des deux électricités dégagées dans la réaction lente de deux corps l'un sur l'autre. En effet, nous avons déjà dit (1)

(1) Tome III, page 380.

que si le pouvoir électrique, en vertu duquel les éléments d'un corps sont combinés, pouvait être changé en courant, ce courant aurait l'intensité nécessaire pour opérer la séparation de ces mêmes éléments. Or, lorsque deux corps se combinent ensemble, les électricités mises en liberté représentent exactement celles qui constituent le pouvoir électrique. Si donc on parvenait à les recueillir complétement, de manière à produire un courant, ce dernier opérerait la séparation d'un même nombre d'éléments. Nous ne pouvons malheureusement transformer en courants qu'une très-faible portion des deux électricités dégagées, attendu qu'il se produit dans le liquide une foule de recompositions qui diminuent d'autant l'intensité du courant principal. De plus, les obstacles qu'elles rencontrent diminuent aussi leur vitesse initiale. D'après cela, plus on affaiblit le nombre de ces recompositions, plus l'intensité du courant augmente, et plus alors elle tend à devenir égale à celle d'une pile composée d'un certain nombre d'éléments. On remplit cette condition en disposant les appareils pour que les électricités dégagées parcourent le plus petit espace possible dans le liquide. Pour donner une idée complète de la méthode générale que nous venons d'indiquer, nous allons citer une série d'expériences qui montreront le parti que l'on peut tirer de ce nouveau mode de décomposition et de recomposition.

Quand nous avons indiqué les procédés électro-chimiques à l'aide desquels on parvenait à se procurer des cristaux de carbonate de plomb, nous avons mis en pratique plusieurs procédés. Dans l'un d'eux, une lame de plomb, en relation avec le pôle positif d'un appareil voltaïque simple, a été placée dans de l'eau au fond de laquelle se trouvait du carbonate de chaux. Du côté négatif se trouvait un nitrate métallique. L'oxigène et l'acide nitrique étant transportés sur la lame de plomb, réagissaient sur le métal qui exerçait aussi une action décomposante sur le carbonate de chaux: ces effets divers ont produit du carbonate de plomb et du nitrate de chaux.

Ce premier exemple indique déjà la marche générale que l'on doit suivre pour faire agir l'électricité à faible tension sur les composés insolubles. En voici un autre que nous avons déjà rapporté, mais sous un autre point de vue (1021) :

1167. Dans un tube de 4 millimètres de diamètre, fermé par un bout, on a mis 1 $\frac{1}{2}$ gramme de sulfure noir de mercure, sur lequel on a versé une solution saturée de sel marin, puis on a plongé dedans une lame de cuivre, et l'on a fermé ensuite hermétiquement le tube. Bien que le sulfure de mercure ne soit pas soluble dans le sel marin et que celui-ci n'attaque pas sensiblement le cuivre hors du contact de l'air, cependant des diverses réactions chimiques faibles qui ont lieu au contact du cuivre, du sulfure de mercure, de l'eau et du chlorure de sodium, ont produit les effets suivants : décomposition du sulfure, cristallisation du mercure combiné avec du cuivre, sur la lame de cuivre et les parois du tube. Les cristaux sont des octaèdres réguliers et des segments octaédriques. L'opération continue sans interruption depuis huit ans, et tout porte à croire que tout le sulfure finira par être décomposé entièrement.

Si l'on opère avec de l'eau distillée au lieu d'eau salée, que l'on amalgame le bout de la lame de cuivre qui est en contact avec le sulfure de mercure et qu'on laisse le tube ouvert, les réactions électro-chimiques marchent rapidement, car on commence à apercevoir des cristaux de mercure et de cuivre huit jours après sur la partie supérieure de la lame. Il est probable qu'il se forme d'abord du sulfate de mercure, puis du sulfate de cuivre, dont la décomposition produit les effets décrits.

1168. On a mis dans un tube de verre du carbonate de cuivre, une solution saturée de sel marin, une lame de fer, et l'on a fermé hermétiquement le tube. Peu à peu le carbonate de bleu est devenu noir, la lame s'est recouverte de cuivre métallique et la décomposition a fini par être complète. Le tube renfermait un décigramme de carbonate hydraté de cuivre. Il est hors de doute, d'après

les effets produits, que dans les diverses réactions qui ont eu lieu au contact de l'eau, du sel marin, du carbonate de cuivre et du fer, le carbonate hydraté n'ait été d'abord décomposé sous l'influence voltaïque en eau et en carbonate anhydre, c'est-à-dire que l'eau n'ait été transportée sur le fer à la manière des acides. Quand l'expérience se fait au contact de l'air, il se précipite de l'oxide de fer.

En substituant au fer une lame de plomb, il y a également décomposition du carbonate de cuivre, sans qu'on observe bien sensiblement le passage du carbonate hydraté au carbonate anhydre, puis formation de double chlorure de plomb et de sodium qui cristallise en jolis rhomboèdres; de carbonate de plomb et probablement de chloro-carbonate en cristaux aciculaires. La liqueur devient légèrement alcaline par suite de la soude mise à nu. Les diverses substances qui résultent des réactions électro-chimiques sont tellement mêlées les unes avec les autres, qu'il est très-difficile de les séparer.

Prenons actuellement du carbonate d'argent, de l'eau distillée et une lame de plomb, le tout disposé comme dans les expériences précédentes; le carbonate ne tarde pas à être décomposé; la partie adhérente au verre forme en divers endroits une surface continue et brillante comme si le verre était étamé, preuve de l'influence des surfaces sur l'action électro-chimique. La lame de plomb se recouvre de carbonate hydraté de plomb en petites lamelles nacrées. Ce carbonate, comme celui de cuivre, ne peut être décomposé qu'en admettant que les effets électriques produits dans l'oxidation du métal, au contact de l'eau et de l'air, sont capables de séparer les éléments des sels métalliques insolubles soumis à leur action.

En substituant au plomb une lame de cuivre ou de fer, le carbonate d'argent est encore décomposé, mais plus rapidement encore qu'avec le plomb. Une partie du gaz acide carbonique se dégage; l'autre forme avec l'oxide de cuivre du carbonate vert, qui se change peu à peu en carbonate bleu, sous la forme de cristaux microscopiques.

L'argent métallique résultant de la décomposition du carbonate est mêlé de très-petits cristaux de protoxide de cuivre, provenant probablement de la décomposition du carbonate de cuivre nouvellement formé et de celui qui se trouvait dans le carbonate d'argent.

1169. Les silicates des métaux dont les oxides sont facilement réductibles, sont également décomposés dans leur contact avec l'eau et des lames de métal oxidable. Nous citerons particulièrement les silicates de cuivre, d'argent et de plomb, mis en contact avec des lames de plomb, de fer, de zinc ou de cuivre.

Le silicate de cuivre est décomposé par les lames de fer et de plomb : l'oxide métallique est réduit et la silice se dépose sous forme gélatineuse. Il est probable qu'en disposant les appareils de manière à ce qu'ils fonctionnent très-lentement, on obtiendrait de petits cristaux de quartz.

Si l'on opère avec une lame de zinc recouverte ou non de cuivre dans la partie en contact avec le silicate, il se produit des effets qui ne pouvaient être prévus *à priori*, attendu qu'ils ne ressemblent en rien à ceux que l'on obtient avec les autres métaux. La lame ne tarde pas à prendre une couleur bleue très-intense, tirant sur le noir, tant qu'elle se trouve dans l'eau, mais si on l'en retire et qu'on la fasse sécher, la couleur bleue est bien manifeste. La surface du zinc se recouvre de petits tubercules bleus qui font effervescence avec tous les acides et donnent des sels de cuivre. Traités par l'ammoniaque, ils s'y dissolvent en partie et laissent du cuivre métallique dans un grand état de division. Dès lors, dans la réaction très-lente du zinc sur le silicate de cuivre par l'intermédiare de l'eau distillée, il se dépose du cuivre métallique, du deutoxide anhydre de cuivre, dont une partie se combine avec l'acide carbonique transmis à l'eau par l'air. Or, comme la réaction s'opère dans toute l'étendue de la lame, bien qu'elle ne soit en contact que dans une petite partie avec le silicate de cuivre, il faut donc admettre que ce dernier est fai-

blement soluble dans l'eau, à l'aide de l'acide carbonique de l'air.

Pendant tout le temps que s'effectuent les diverses réactions dont nous venons de parler, il se dégage une quantité assez notable de gaz hydrogène, provenant de la décomposition de l'eau. Il faut donc que dans cette circonstance la silice détermine la décomposition de l'eau. Nous devons ajouter que, dans ces diverses réactions, il se forme des grains cristallins de carbonate de zinc, dans lesquels on reconnaît la forme rhomboïdale. Nous répétons encore que les divers produits qu'on obtient dans la réaction du zinc sur le silicate de cuivre par l'intermédiaire de l'eau ne pouvaient être prévus, puisqu'ils dépendent du rapport entre les effets électriques produits dans l'oxidation du zinc et les affinités des divers éléments qui se combinent.

En opérant avec de l'oxide de cuivre hydraté, ou du carbonate vert de cuivre, au lieu de silicate, l'oxide est réduit sans qu'il y ait formation de carbonate bleu, et il se dépose sur la lame de zinc des grains cristallins de carbonate de zinc. L'eau est également décomposée, mais moins abondamment.

1170. Les arséniates et les phosphates des métaux oxidables ont été soumis également avec succès au même mode d'expérimentation, particulièrement les sous-arséniate et sous-phosphate d'argent. Leur décomposition s'est effectuée assez rapidement; l'oxide d'argent a été réduit, l'acide devenu libre s'est combiné avec l'oxide nouvellement formé. En employant une solution de chlorure de sodium au lieu d'eau distillée, on obtient des doubles combinaisons.

Avec l'arséniate d'argent, l'eau distillée et le plomb, il s'est déposé sur celui-ci des lamelles cristallines d'un blanc nacré d'arséniate de plomb, l'eau est devenue assez fortement acide par la présence de l'acide arsénique. Or, comme un atome d'arséniate d'argent, quand il est décomposé par le plomb, doit donner naissance à un atome d'arséniate de plomb, il faut donc que l'arséniate

formé ne soit qu'un sous-sel ; la quantité que l'on en a obtenue est encore trop faible pour qu'on en puisse faire l'analyse.

En opérant avec l'arséniate d'argent, l'eau distillée et une lame de cuivre, le sel métallique est également décomposé, l'oxide d'argent est réduit, et il se forme des cristaux aciculaires d'arséniate de cuivre d'un vert tendre.

Nous avons soumis aussi à l'expérience le chromate d'argent, avec l'eau distillée et une lame de plomb, dans l'espoir de former le chromate de plomb semblable à celui de Berezoff, et que nous avions déjà obtenu par d'autres procédés. Le chromate n'a pas tardé à être décomposé : il s'est déposé sur la paroi inférieure du verre des lamelles cristallines d'argent ; l'acide chromique, devenu libre, s'est combiné avec l'oxide de plomb formé aux dépens de l'oxigène de l'oxide d'argent. Il en est résulté un chromate de plomb jaune, qui s'est changé peu à peu en chromate d'un rouge orangé, en cristaux aciculaires.

1171. Ces expériences étant variées de mille manières, peuvent donner naissance à des produits électro-chimiques qui ne peuvent manquer d'intéresser la chimie et la géologie.

1172. On peut opérer également sur des composés insolubles qui ne renferment pas d'oxide métallique. Nous prendrons pour exemple l'iodure de soufre qui laisse dégager facilement de l'iode. Si après l'avoir broyé en parties très-ténues, on le met dans un tube de verre avec de l'eau et une lame de plomb, l'eau se charge peu à peu d'iode, il se forme promptement des cristaux d'iodure de plomb de plusieurs millimètres d'étendue ; des cristaux d'iode très-nets se déposent sur le plomb et sur la paroi du tube, et le soufre est insensiblement mis à nu.

Si l'on substitue au plomb une lame d'étain, la décomposition de l'iodure de soufre dans un tube à petit diamètre paraît marcher plus rapidement. Dans l'espace de 24 heures, il se dépose sur la lame des aiguilles d'un per-

iodure d'étain de couleur orangée, qui deviennent jaunes claires, quand on les traite par l'eau bouillante.

Avec le cuivre on obtient des effets analogues.

Il est probable qu'en faisant réagir des substances organiques avides d'oxigène sur des sels métalliques insolubles, par l'intermédiaire de l'eau, on parviendra également à opérer leur décomposition.

Les faits que nous venons de rapporter suffisent pour montrer le parti que l'on peut tirer d'effets électriques simples pour réagir sur des composés insolubles.

CHAPITRE VII.

DES CARBONATES DE CHAUX.

§ Ier. *Procédé pour reconnaître si un calcaire a une texture rhomboïdale ou prismatique.*

1173. Lorsque le carbonate de chaux est cristallisé, rien n'est plus simple que de reconnaître s'il appartient au système rhomboïdal ou au système prismatique : il suffit pour cela du clivage, de la mesure des angles et de la dureté. Mais si cette substance a une texture seulement cristalline et à grains plus ou moins fins, il devient impossible alors de détacher les lames pour mesurer les angles. Il ne reste plus alors que la dureté pour caractère distinctif, qui est souvent insuffisant, puisqu'il change d'une variété à l'autre. Voici le moyen que nous avons employé pour distinguer les deux espèces de carbonate de chaux :

Prenons d'abord une lame de spath calcaire et réduisons-la en poussière dans un mortier d'agate. Si l'on examine cette poussière au microscope, sur une lame de verre, on n'aperçoit que des petites masses demi-opaques, dont il est difficile de déterminer les formes; mais en y ajoutant quelques gouttes d'eau pour diminuer la réflexion de la lumière et produire le même effet que dans l'hydrophane, on distingue alors sur plusieurs lamelles la forme rhomboïdale. Soumettons à la même

épreuve un cristal d'arragonite qui n'a que deux sens possibles de clivage; on n'aperçoit plus alors de rhomboïdes, mais bien une foule de petites lames cristallisées, terminées par des lignes parallèles dans deux sens et ne présentant dans les deux autres qu'une cassure vitreuse. Voilà un moyen très-simple de distinguer le spath rhomboïdal de l'arragonite.

On trouve le clivage du rhomboèdre dans le flos-ferri, les dragées de Tivoli, le marbre blanc lamellaire, le marbre blanc saccharoïde, et le clivage de l'arragonite dans l'arragonite fibreuse de Vertaison, dans quelques stalactites fistulaires, l'albâtre de Montmartre et divers autres calcaires. On avait déjà reconnu que le flos-ferri devait être rangé dans la chaux carbonatée ordinaire, et l'on soupçonnait que l'albâtre de Montmartre appartenait à l'arragonite, mais on n'avait pas encore obtenu de preuves aussi directes pour opérer ce rapprochement que celles que nous venons de donner.

§ II. *Formation électro-chimique de l'arragonite.*

1174. Pour former l'arragonite, on emploie l'appareil, figure 5, composé de trois bocaux tubulés A, A', A''; le premier est destiné à dégager de l'acide carbonique par les procédés ordinaires de la chimie et communique avec A' au moyen d'un tube recourbé *a b c*, dans lequel passe le gaz. La communication de A' avec A'' est établie avec un autre tube recourbé *a' b' c'*, rempli d'argile humide et dont les deux bouts sont coiffés avec du linge pour empêcher la sortie de l'argile. A' est rempli d'eau pure, ou mieux encore d'une solution saturée de carbonate de chaux dans l'acide carbonique. Dans cette dissolution plonge une lame de platine, qui communique avec le pôle négatif d'une pile de 30 éléments, chargée avec de l'eau pure ou de l'eau renfermant une petite quantité de sel marin. Le troisième bocal contient une solution de chlorure de calcium, dans laquelle se trouve une lame de

platine en communication avec le pôle positif de la même pile. Des tubes de sûreté *t t* sont placés dans les bocaux A, A' : la première tubulure de A, qui est fermée avec un bouchon, est destinée à introduire le carbonate de chaux nécessaire pour effectuer le dégagement du gaz acide carbonique; dans l'ouverture O passe, outre le tube de sûreté, un autre petit tube que l'on ouvre de temps à autre pour laisser sortir l'hydrogène. Quand l'appareil est bien luté, on procède au dégagement du gaz acide carbonique, en même temps que l'on fait fonctionner la pile.

Voici ce qui se passe : le chlorure de calcium est décomposé, la chaux est transportée dans A', où elle trouve de l'acide carbonique avec lequel elle se combine; mais au lieu de cristalliser immédiatement sur la lame de platine, elle se dissout dans l'excès d'acide. Cet effet continue jusqu'à ce que l'eau acidule soit saturée de chaux. La cristallisation commence alors sur la lame même du platine. L'action décomposante de la pile s'exerce également, quoique faiblement, sur le bicarbonate de chaux; on a, d'une part, de l'acide carbonique et du carbonate de chaux, et de l'autre de l'acide carbonique et de la chaux. Mais cette dernière décomposition doit être excessivement faible, attendu qu'elle se produit au milieu d'un liquide chargé d'acide carbonique. La chaux n'est pas le seul corps qui soit transporté dans le bocal A'; l'hydrogène, qui provient de la décomposition de l'eau, s'y rend également. Ce gaz, en se dégageant autour de la lame de platine, agite le liquide et nuit à la cristallisation. Pour obvier à cet inconvénient on place au fond du vase de l'hydrate de cuivre, lequel se combine peu à peu avec l'acide carbonique. Ce nouveau carbonate est dissous, puis décomposé par le courant; l'hydrogène aide à la réduction du deutoxide de cuivre et ne trouble plus la cristallisation du carbonate de chaux; mais alors la lame de platine se recouvre de cuivre métallique ou de protoxide, suivant la force de la pile, et quelquefois même de carbonate bleu et vert de cuivre en petits tu-

bercules, quand son action est excessivement faible, et très-probablement aussi de double carbonate de chaux et de cuivre.

Les cristaux de carbonate de chaux, déposés sur la lame, sont des prismes quadrangulaires terminés par des sommets dièdres, forme incompatible avec le rhomboèdre primitif de la chaux carbonatée, mais qui appartient au système de l'arragonite. Quelques-uns des cristaux, après 20 jours d'expérience, avaient un millimètre de long. Examinés au microscope, suivant la méthode décrite auparavant, on a reconnu le clivage de l'arragonite. L'analyse qualificative n'a donné que de la chaux et de l'acide carbonique sans eau de cristallisation.

La matière chauffée à 150°, dans un tube de verre, n'a rien perdu de son poids. Un peu avant le rouge obscur, elle a pris une teinte grise et a répandu une légère odeur, puis elle est redevenue très-blanche : le résidu s'est dissous entièrement dans l'acide acétique faible. Chauffée au chalumeau avec du borax, elle a fondu en un vert presque incolore; 0^{gr} 115 ont été décomposés par l'acide sulfurique et chauffés au rouge obscur et ont donné 0,154 de sulfate de chaux, dans lequel on a constaté l'absence du fer, du manganèse, de la strontiane et de la silice. Cette analyse montre que la composition de cette chaux carbonatée est précisément la même que celle du calcaire ordinaire et de l'arragonite.

Lorsqu'on cherche à former l'arragonite, sans employer l'oxide de cuivre, le dépôt cristallise difficilement, comme nous l'avons déjà fait observer, parce que l'hydrogène cause de l'agitation dans le liquide. On ne peut donc décider ici si la présence d'un métal est ou non une des causes influentes de la cristallisation de la chaux carbonatée dans le système prismatique.

§ III. *Des cristaux de chaux carbonatée spathique et d'arragonite de formation moderne.*

1175. A Carlsbad, en Bohême, il se dépose journel-

lement des concrétions calcaires que l'on a rapportées à l'arragonite. A Saint-Nectaire, dans le département du Puy-de-Dôme, on trouve de semblables dépôts dans des tufs modernes. Ces dépôts ne présentent, en général, qu'une cristallisation confuse de cristaux groupés irrégulièrement les uns à côté des autres, et partant d'un centre commun.

Ce groupement, qui est le même que celui des cristaux de Vertaison et de diverses localités, a paru suffisant pour faire regarder comme identiques ces deux espèces de cristaux. Pour nous assurer si ce rapprochement était bien fondé, nous avons fait les observations suivantes :

1176. A Clermont, en Auvergne, il existe des fontaines incrustantes qui déposent sur les corps une croûte de chaux carbonatée, n'ayant aucune apparence de cristallisation. A Saint-Nectaire il existe également des eaux incrustantes, mais le dépôt qui se forme sur les corps n'est plus terreux ; il est formé de petits cristaux dont on a cherché le système cristallin par la méthode précédemment indiquée; leur clivage est le même que celui de l'arragonite : ce qui vient encore à l'appui de cette assertion, c'est que l'arragonite se forme depuis un temps immémorial dans cette localité. Les fissures des roches granitiques, par lesquelles les eaux sortaient jadis, en sont tapissées. La cause qui détermine la cristallisation de la chaux carbonatée, dans le système prismatique, existe donc là depuis la plus haute antiquité. Quelle est cette cause? nous l'ignorons. Ce que nous pouvons dire, c'est que la modification que le courant électrique imprime à la chaux, quand elle est transportée par lui au milieu d'une eau chargée d'acide carbonique en présence de l'oxide de cuivre, suffit pour déterminer la formation de l'arragonite : aller au delà ce serait devancer l'expérience. Nous ferons remarquer seulement qu'à Saint-Nectaire la composition des eaux minérales indique également un grand excès d'acide carbonique, comme le prouve l'analyse de M. Berthier.

	Sels sans eau.
Acide carbonique libre.......	0,000736
Carbonate de soude neutre....	0,002833
Muriate de soude...........	0,000156
Carbonate de chaux.........	0,000440
Carbonate de magnésie.......	0,000240
Silico....................	0,000100
Oxide de fer...............	0,000014
	0,006203

1177. M. Berthier, qui a fait une étude approfondie des eaux minérales, et en particulier des eaux thermales de Saint-Nectaire, nous a donné des renseignements précis sur les changements qui s'y produisent quand elles sont au contact de l'air. Ces eaux suintent en bouillonnant à travers les fissures d'un gneiss jaunâtre en décomposition. Près de leur source elles sont très-limpides, mais elles ne tardent pas à louchir et déposent sur le sol des incrustations calcaires qui s'accumulent avec le temps et finissent par former des rochers d'une grande étendue. Dans les journées chaudes, elles déposent sur les herbes des efflorescences blanches alcalines. Ces dépôts varient de couleur : ils sont d'une couleur ocracée due à l'oxide de fer qui se dépose dès que l'eau a le contact de l'air. Les autres sont grisâtres ou blanchâtres et sont composés de couches concentriques; la cassure en est presque toujours cristalline et striée. Voici l'analyse qu'il a donnée de toutes ces concrétions :

	Dans les concrétions ocracées.	Dans les concrétions blanches.
Sable mêlé de silice gélatineuse.	0,14....	0,18
Carbonate de chaux..........	0,78....	0,78
Carbonate de magnésie.......	0,04....	0,04
Oxide de fer...............	0,04....	trace.

Les efflorescences alcalines sont pulvérulentes et d'un

blanc de neige; leur saveur est fortement alcaline : elles sont composées de

Sous-carbonate de soude.....	0,657
Muriate de soude..........	0,080
Eau de cristallisation.......	0,263
	1,000

L'explication que donne M. Berthier de la décomposition des eaux minérales est tellement rationnelle que nous la rapportons ici textuellement :

« Aussitôt qu'elles ont le contact de l'air, elles lais-« sent dégager de l'acide carbonique : le fer, qui paraît « être, dans l'eau, à l'état de carbonate de protoxide, « absorbe de l'oxigène et se dépose presque immédiate-« ment à l'état d'hydrate de peroxide. La silice se dépose « un peu plus tard. Vient ensuite le carbonate de chaux, « puis après le carbonate de magnésie..... Le dégage-« ment d'acide carbonique continuant toujours, le car-« bonate neutre de soude devient de plus en plus alcalin, « et enfin il se transforme entièrement en sous-carbo-« nate. Après cela, l'eau minérale n'éprouve plus aucune « altération. »

1178. A Vienne en Dauphiné, dans une galerie d'écoulement qui a été ouverte il y a environ un siècle dans une diabase, nous avons trouvé des incrustations cristallisées de carbonate et de sulfate de chaux. Les cristaux de carbonate, dont quelques-uns ont de 2 à 3 millimètres de côté, appartiennent à la variété inverse; une partie en est limpide, l'autre d'un blanc mat; ils se dissolvent sans résidu dans l'acide acétique étendu d'eau. Le gisement des cristaux ne laisse aucun doute sur leur formation, par suite de l'infiltration des eaux depuis l'ouverture de la galerie.

1179. A Aix en Savoie, dans une piscine romaine, découverte en 1830, nous avons trouvé trois variétés bien distinctes de concrétions calcaires qui sont assez re-

marquables; la première, qui est la plus ancienne, repose sur le marbre blanc du fond de la piscine. Elle est stratiforme et composée de lames cristallines de spath calcaire. La seconde, qui est au-dessus, est formée de lamelles cristallines plus serrées. La texture commence à être compacte; enfin dans la troisième concrétion, qui est la plus récente, elle est tout à fait compacte et ne diffère en rien, sous le rapport de la texture, de la chaux carbonatée compacte : la ressemblance est tellement parfaite que l'œil le plus exercé ne saurait trouver de différence entre l'une et l'autre. L'analogie qui existe entre l'ordre de formation de ces dépôts demi-cristallins, demi-compactes et compactes, et la distribution des formations calcaires dans la terre, ancien, intermédiaire et secondaire, où ils sont successivement cristallins, moins cristallins et compactes, pourra servir à éclairer plusieurs points de géologie.

1180. Nous terminerons ce que nous avons à dire sur la formation spontanée du carbonate de chaux, par l'observation suivante, qui est due à M. Dumas. A la manufacture de Sèvres, dans un réservoir de plomb, où coule de l'eau chargée de carbonate de chaux, tenu en dissolution par un excès d'acide carbonique, la surface intérieure offre des traces à peine sensibles de carbonate de chaux, tandis que sur les soudures on observe des incrustations de plusieurs lignes d'épaisseur, irrégulières à la surface, mais cristallisées à l'intérieur. Nul doute qu'il n'y ait eu ici une action électrique très-faible, qui a décomposé le bicarbonate en carbonate et en acide carbonique. Cette action électrique provient de la différence d'action de l'eau chargée d'acide carbonique sur le plomb et la soudure, laquelle rend le plomb positif par rapport à la soudure. Des métaux ne sont pas toujours nécessaires pour obtenir de semblables effets, il suffit d'actions chimiques quelconques, formant des courants électriques continus à l'aide d'un corps conducteur inerte, tel que le charbon ou autre.

§ IV. *De la formation de cristaux de carbonate de chaux dans la nature organique.*

1181. M. Turpin a observé une multitude de cristaux rhomboédriques de chaux carbonatée sur la paroi intérieure de l'enveloppe extérieure des œufs du limaçon des jardins.

Ces œufs sont de la grosseur du plomb de chasse ordinaire, d'un blanc laiteux. Ils sont composés de quatre parties : de deux enveloppes membraneuses très-minces organisées, d'une cicatricule et d'une liqueur albumineuse organisable.

Les deux enveloppes, dans l'origine, sont semblables ; ce n'est qu'ensuite que l'enveloppe extérieure devient plus épaisse, plus consistante, plus opaque et assez calcaire. Ce changement paraît s'opérer au moyen d'une grande quantité de molécules de carbonate de chaux, qui se déposent successivement en cristallisant. Pour les observer, on opère de la manière suivante : on place sur une lame de verre, dans une goutte d'eau, une coque ou enveloppe extérieure, que l'on détruit ; il se dégage alors un grand nombre de très-beaux cristaux rhomboédriques de carbonate de chaux, dont les plus gros ont $\frac{1}{100}$ de millimètre et qui font une vive effervescence avec l'acide nitrique.

M. Turpin a observé que l'œuf, à l'instant même où l'animal le pond, contient déjà tous les cristaux, ce qui prouve que leur formation a lieu dans l'intérieur même de l'ovaire. Il en est de même dans les œufs des oiseaux ; la différence consiste uniquement dans ce que, à la paroi interne de ceux-ci, les molécules de carbonate de chaux se déposent confusément, comme dans l'ossification des animaux vertébrés, tandis que dans la première la même matière prend un groupement régulier.

1182. Swammerdam et Spallanzani avaient déjà remarqué que dans les hélices vivipares il se forme une immense quantité de globules cristallisés, entassés pêle-

mêle dans les fibres musculaires, principalement dans les cornes de l'animal, qui en renferment environ les $\frac{5}{6}$ de sa masse. Ces globules, qui ressemblent à des petites perles, ont environ $\frac{1}{200}$ de millimètre de diamètre. Leur transparence parfaite les ferait prendre au premier abord pour des bulles d'air. En les regardant attentivement au microscope, on reconnaît que ces globules ne sont que des rhomboèdres encore ébauchés. Autant qu'on peut en juger, leur formation a lieu par des dépôts successifs de molécules de carbonate de chaux. M. Turpin a observé que ces globules commencent à se former dès l'instant que le fœtus prend naissance.

1183. L'intérieur des tissus des végétaux et des animaux reçoit constamment par les racines, de la matière inorganique qui n'affecte que rarement des formes cristallines, parce qu'elle est soumise à l'empire des forces vitales; le carbonate de chaux se dépose en masses confuses dans l'ossification des os des animaux vertébrés, dans les coquilles d'un grand nombre de mollusques, etc., ou bien à l'état diffus comme le fer, le cuivre, la silice, etc.

Il paraît que la cristallisation de la matière inorganique, dans l'intérieur des tissus vivants, paraît dépendre uniquement d'une cause constante qui fait partie de l'organisme de certaines espèces; par exemple, dans le genre opuntia, de la famille des cactées, plusieurs espèces manquent entièrement de ces agglomérats de cristaux tétraèdres que l'on trouve abondamment dans toutes les autres.

Nous pourrions citer d'autres exemples semblables. En général, il existe un grand nombre de végétaux dans le tissu cellulaire desquels on a observé de nombreux cristaux.

Double carbonate de chaux ou dolomie.

1184. Cette substance est formée d'un atome de carbonate de chaux et d'un atome de carbonate de magnésie. On la trouve dans la nature, dans les terrains

anciens associés à un grand nombre de substances; dans les terrains secondaires, elle forme souvent des masses assez considérables, composées de cristaux brillants nacrés. Nous l'avons formée avec le même appareil qui nous a servi à obtenir le carbonate de chaux. On a mis, à cet effet, dans le bocal A″ une dissolution de chlorure de calcium et de chlorure de magnésium, dans des proportions telles qu'il y avait un atome de l'un pour un atome de l'autre. On a agi ainsi pour que la même quantité de chacune des deux bases fût transportée simultanément dans le second bocal et fût soumise en même temps à l'action de l'acide carbonique. On a commencé à apercevoir, au bout de deux jours, sur la lame de platine qui se trouve dans le second bocal, des petits tubercules très-blancs qui se sont couverts peu à peu d'une substance noirâtre à la surface et de cuivre métallique.

Les tubercules, examinés au microscope, ont indiqué la présence de rhomboïdes complets et d'autres dont les arêtes autour de l'axe étaient émarginées : cette variété a été appelée unitaire par M. Haüy.

§ V. *De la réaction du bicarbonate de chaux sur le gypse.*

1185. Lorsque l'on plonge un morceau de sulfate de chaux cristallisé dans une solution saturée ou étendue de bicarbonate alcalin, il y a dégagement de gaz acide carbonique; la sélénite blanchit peu à peu, se recouvre de petits cristaux de carbonate de chaux; il se dépose aussi des cristaux de sulfate de chaux sur les parois du vase, et la solution renferme du sulfate alcalin. Rien n'est plus simple que d'expliquer ces phénomènes : le sulfate de chaux étant faiblement soluble à mesure qu'il se dissout, est décomposé par le bicarbonate. Mais, comme le sulfate de chaux est composé d'un atome de base et de deux atomes d'acide sulfurique, ainsi que le sulfate de potasse, et que le bicarbonate de potasse renferme un atome de potasse et quatre atomes d'acide carbonique, le

carbonate de chaux un atome de chaux et deux d'acide, il faut nécessairement que les deux atomes de gaz deviennent libres, et se dégagent comme l'expérience l'indique.

Quand on fait réagir le sous-carbonate, les mêmes produits se forment; mais alors il ne se dégage plus de gaz acide carbonique, puisque la quantité qui possède un atome d'alcali est saturée complétement par la chaux que l'acide sulfurique abandonne.

Il résulte des observations précédentes que lorsqu'une eau minérale alcaline traverse des terrains gypseux, ceux-ci doivent être peu à peu décomposés, et changés en carbonate de chaux plus ou moins cristallin, suivant l'énergie de la réaction.

CHAPITRE VIII.

ACTIONS CHIMIQUES DIVERSES QUI DOIVENT ÊTRE PRISES EN CONSIDÉRATION DANS LES PHÉNOMÈNES GÉOLOGIQUES.

§ Ier. *De l'action simultanée des matières sucrées et mucilagineuses sur les oxides métalliques par l'intermédiaire des alcalis et des terres.*

1186. Nous sommes naturellement conduit, puisque nous traitons des actions lentes, à examiner l'action simultanée des matières sucrées et mucilagineuses sur les oxides métalliques, ainsi que les sels qu'ils forment avec différents acides, puisque les eaux minérales renferment fréquemment des matières organiques qui peuvent réagir sur les composés métalliques des roches qu'elles traversent.

Voguel (1) a fait voir que beaucoup de sels métalliques peuvent être décomposés par un grand nombre de substances du règne organique. Suivant ce chimiste, le principe sucré se trouve au premier rang. Ayant traité plusieurs de ces sels à la température de l'eau bouillante, il a obtenu les résultats suivants : La dissolution de l'acétate de cuivre est décomposée par le sucre; l'acide acétique se dégage, il se précipite du protoxide de cuivre, et la liqueur surnageante est un proto-acétate de cuivre. Les autres espèces de sucres partagent jusqu'à

(1) Journal de Pharmacie, t. 1, p. 241.

un certain point cette propriété décomposante. La gomme arabique ne décompose pas ce sel; le sulfate de cuivre, au lieu de protoxide, donne un précipité de cuivre métallique; les sels de fer, de zinc, d'étain et de manganèse, sont indécomposables par le sucre; le deutoxide de mercure passe à l'état de proto-chlorure; le muriate d'or et le nitrate d'argent sont très-facilement décomposables par le sucre; le peroxide de mercure est ramené à l'état de protoxide; les oxides de plomb sont très-solubles dans une dissolution de sucre; enfin Voguel a avancé que dans toutes les désoxidations opérées par le sucre, il se forme de l'eau aux dépens de l'oxigène du métal et de l'hydrogène du sucre. Tel est le résultat de ses expériences touchant l'action des substances végétales sur les sels métallique. Guidé par nos recherches électro-chimiques, nous avons suivi une autre marche pour déterminer l'action de ces substances sur les oxides métalliques; nous avons fait réagir immédiatement ces derniers sur le sucre, par l'intermédiaire des terres et des alcalis.

1187. Si l'on traite, à l'aide de la chaleur, par l'eau et la chaux, l'hydrate de cuivre nouvellement précipité, l'oxide devient noir et passe probablement à l'état anhydre; mais si l'on ajoute une très-petite quantité de sucre ordinaire, un dixième, par exemple, du poids de l'hydrate, une portion de l'oxide se dissout et la liqueur prend une couleur bleue, semblable à celle de la dissolution de l'oxide de cuivre dans l'ammoniaque. Le miel et le sucre de lait jouissent de la même propriété, qui paraît propre aux matières sucrées. La potasse et la soude se comportent de même que la chaux, seulement leur faculté dissolvante est plus forte; la baryte et la strontiane ne possèdent cette propriété qu'à un degré très-faible; ainsi la potasse, la soude et la chaux jouissent donc de la propriété de dissoudre, même à froid, le deutoxide de cuivre, quand elles se trouvent en contact avec une matière sucrée. Voilà un caractère tranché qui sert à reconnaître cette matière dans une solution de composés organiques.

La gomme est loin de produire un effet semblable, comme nous allons le voir. Les alcalis et les terres ne précipitent pas la dissolution de gomme dans l'eau, mais si l'on ajoute du deutoxide de cuivre à l'état d'hydrate, il se forme aussitôt un précipité floconneux blanc de gomme et d'oxide de cuivre. Si l'on ajoute suffisamment d'oxide, on peut précipiter par ce moyen toute la gomme : c'est sous l'influence de la potasse que cet effet se produit. Quand la dissolution renferme en outre une petite quantité de matière sucrée, celle-ci réagit aussitôt sur l'excès d'oxide de cuivre, le dissout et colore en bleu la dissolution. Cette propriété de la gomme, qui diffère essentiellement de celle du sucre, dans les mêmes circonstances, nous fournit un moyen très-simple de reconnaître la présence de l'une et de l'autre dans une dissolution composée de produits organiques. On commence par dissoudre dans le liquide un excès de potasse, puis on ajoute du deutoxide de cuivre également en excès, qui précipite toute la gomme : dans le cas où il y a une matière sucrée, la dissolution se colore aussitôt en bleu; par exemple, le mucilage que l'on obtient par une décoction de farine de graine de lin, donne, par la potasse et l'hydrate de cuivre, un précipité analogue à celui de la gomme et de l'hydrate de cuivre, et la dissolution se colore légèrement en bleu, comme si elle renfermait un peu de matière sucrée. Cette dernière réaction est-elle due au mucilage que renferme la graine de lin? nous ne le pensons pas; car ce mucilage, quand il est isolé des autres substances contenues dans la graine, ne jouit pas de la propriété de dissoudre l'oxide de cuivre par l'intermédiaire de la potasse. Il paraîtrait d'après cela que la décoction de graine de lin renferme une petite quantité de matière sucrée. M. Vauquelin, dans l'analyse qu'il a faite de la graine de lin, n'a pas fait mention de matière sucrée; mais cette substance s'y trouve peut-être en quantité si minime qu'il fallait une réaction très-sensible pour en constater la présence. Le procédé que nous venons d'indiquer, en raison de sa sensibilité

et de la facilité avec laquelle on le met en pratique, pourra être de quelque utilité aux botanistes et aux chimistes. Les résultats que nous venons d'exposer s'obtiennent à la température ordinaire; mais si l'on soumet les dissolutions à l'action de la chaleur, les effets changent.

Prenons une dissolution de sucre de canne, de potasse et de deutoxide dans l'eau, dans des proportions telles que le sucre et la potasse soient quatre ou cinq fois plus considérables en poids que le deutoxide: la couleur bleue change aussitôt que l'ébullition commence; elle devient verte, vert-jaune, jaune-rouge, puis rouge; tout le deutoxide est alors changé en protoxide qui n'éprouve plus ensuite aucun changement, quelle que soit la durée de l'ébullition. Si l'on ajoute successivement de l'oxide de cuivre jusqu'à ce qu'il ne se forme plus de protoxide, on parvient à décomposer entièrement tout le sucre, et il ne reste plus dans la dissolution que du carbonate de potasse et une petite quantité d'acétate de la même base, comme on pouvait le prévoir en raison des observations électro-chimiques exposées précédemment. On reconnaît la présence de l'acide acétique en versant de l'acide sulfurique sur le résidu de la dissolution évaporée à siccité. Le sucre de lait se comporte à froid comme le sucre ordinaire à l'égard du cuivre et de la potasse; mais si l'on traite la dissolution par la chaleur, l'oxide de cuivre passe à l'état de protoxide, puis est réduit à l'état métallique; effet que l'on n'obtient jamais avec le sucre de canne : outre les différences entre les propriétés chimiques qui existent entre les deux substances, celle que nous venons d'indiquer peut servir à les distinguer l'une de l'autre.

Les oxides d'or, d'argent et de platine, soumis aux mêmes expériences que l'oxide de cuivre, sont réduits à l'état métallique, comme par le procédé de Voguel. Les oxides de fer, de zinc, de cobalt, de nickel, n'éprouvent aucun changement, quand on les traite par la potasse et le sucre de lait. Si l'on traite par la chaleur

3 grammes de deutoxide de mercure, avec 7 grammes de sucre de lait, 9 de potasse et 10 d'eau, le mercure est réduit à l'état métallique, sous forme de pâte : le métal se trouve alors dans un grand état de division, en raison de l'eau interposée entre ses parties. On peut se servir de cette pâte pour fixer le mercure sur le verre sans l'intermédiaire de l'étain; il suffit pour cela de l'étendre en couches très-minces, et de chauffer légèrement le verre; la chaleur chasse une partie de l'eau, et l'autre partie sert d'intermédiaire entre le verre et le mercure, pour faire adhérer ce dernier. L'adhérence est assez forte pour empêcher qu'un choc un peu fort imprimé au verre n'en détache le métal. Nous croyons qu'une des causes de l'adhérence doit être attribuée aussi à la présence d'une petite quantité d'oxide de mercure dans le métal; car l'on sait, d'après les expériences de M. Dulong, que le mercure peut adhérer au verre en raison de l'oxide qu'il renferme. On parvient, par le même procédé, à fixer sur le verre les amalgames d'or et d'argent : nous n'en faisons mention ici que parce qu'il se pourrait faire qu'on eût besoin de semblables surfaces métalliques, dans des expériences sur la lumière ou la chaleur.

La chaux, et par suite la baryte, et la strontiane ne se comportent pas comme les alcalis à l'aide de la chaleur, par rapport à l'oxide de cuivre et aux matières sucrées. Nous avons vu que les alcalis font passer l'oxide, suivant la nature de la matière sucrée, à l'état de protoxide ou bien à l'état métallique : la chaux, qui dissout facilement cet oxide par l'intermédiaire des mêmes matières, ne jouit pas de la propriété d'opérer une de ces deux réductions à l'aide de la chaleur; elle détermine un précipité jaune-orangé, formé de protoxide de cuivre et de chaux, dont on connaît aisément la nature en le traitant par l'ammoniaque. La baryte et la strontiane donnent lieu également à la formation d'un protocuprate de baryte et de strontiane; l'action spontanée produit les mêmes effets, et l'on peut même s'en

servir pour accélérer la formation des cristaux de carbonate hydraté de chaux, car le deutoxide de cuivre, en passant à l'état de protoxide, cède une partie de son oxigène au carbone; l'acide carbonique se combine alors avec la chaux, et il se précipite sur les parois du vase un protocuprate de chaux orangé.

On peut obtenir également du protocuprate de potasse et de soude.

§ II. *De la cristallisation de quelques oxides métalliques par l'intermédiaire du peroxide de potassium.*

1188. Puisque nous cherchons tous les moyens que la nature a pu employer pour former les substances qui se trouvent dans les diverses formations de la terre, nous ne devons omettre aucun de ceux dont les sciences physiques et chimiques peuvent disposer pour faire cristalliser divers composés, entre autres les oxides métalliques dont plusieurs n'ont pu être obtenus en cristaux réguliers par aucun des moyens dont disposent la chimie et l'électro-chimie.

Nous avons eu l'idée de prendre pour dissolvant le peroxide de potassium, qui, en raison de son degré d'oxigénation, ne doit pas posséder la faculté de former avec eux des combinaisons aussi stables que la potasse, qui est une base plus énergique.

On sait que lorsqu'on chauffe de la potasse dans un creuset d'argent découvert, elle fond, perd une partie de son eau et prend à l'air, en échange, de l'oxigène pour se transformer en peroxide de potassium. Quand le creuset est refroidi, vient-on à jeter de l'eau sur le peroxide, il y a dégagement d'oxigène. Cela posé, si l'on met dans un semblable creuset un demi-gramme de deutoxide de cuivre, avec 2 ou 3 grammes de potasse à l'alcool, et que l'on porte la température, pendant quelques minutes, jusqu'au rouge naissant, le deutoxide s'y dissout complétement. La dissolution étant refroidie, si

l'on traite la masse par l'eau, il y a dégagement de gaz oxigène pur; ce qui annonce qu'il s'est formé du peroxide de potassium. Il se précipite en même temps des flocons de deutoxide de cuivre et des petits cristaux de même nature, dont plusieurs ont quelquefois 1 ou 2 millimètres de longueur, lorsqu'une partie de la potasse a été transformée en peroxide de potassium, et que le refroidissement a été lent. Ces cristaux sont des octaèdres réguliers d'un vif éclat métallique. Ils se forment à l'instant où commence le refroidissement, car il est impossible de les distinguer dans la masse solide avant le lavage; ils ne renferment aucune trace de potasse et jouissent de toutes les propriétés propres au deutoxide de cuivre. On doit ajouter que le succès de l'expérience dépend de la pureté de la potasse; car si l'on emploie de la potasse à la chaux, il y a à peine apparence de cristaux dans le précipité.

On peut se faire ici deux questions : La potasse forme-t-elle avec l'oxide de cuivre deux combinaisons, dont l'une est stable tant qu'elle n'a pas le contact de l'eau, et dont l'autre est détruite au-dessous d'une certaine température? ou bien : Le peroxide de potassium qui se forme, comme l'annonce le dégagement d'oxigène, jouit-il de la propriété de dissoudre à une certaine température une portion de l'oxide de cuivre, tandis que l'autre se combine avec la potasse non décomposée? L'expérience suivante sert à fixer les idées à cet égard.

On a mis dans un tube de verre, fermé par un bout, un décigramme de deutoxide de cuivre, avec quelques décigrammes de potasse; l'autre bout a été effilé à la lampe, et on l'a fermé tout à fait quand une partie de l'eau a été chassée. La température a été portée ensuite au rouge naissant. Après le refroidissement, la masse a été traitée avec l'eau; il ne s'est précipité que des flocons d'oxide de cuivre sans cristaux. Ainsi l'oxide a été dissous comme à l'ordinaire par la potasse; or, comme il n'y a pas eu formation de peroxide de potassium, cette expérience prouve que la production de ce composé dans le creuset

d'argent a été une cause déterminante pour la dissolution et la cristallisation du deutoxide de cuivre.

La formation des cristaux de deutoxide de cuivre s'opère, avons-nous dit, toutes les fois que le creuset reste assez longtemps au feu pour qu'il y ait production de peroxide de potassium ; mais si on l'y maintient à la température rouge, pendant quelque temps, tout le deutoxide se change en protoxide. Les cristaux de ce composé ont une couleur rouge de brique, et sont beaucoup plus petits que ceux de deutoxide. Il est probable que, dans cette transformation, le deutoxide cède une portion de son oxigène au protoxide de potassium, pour le faire passer à l'état de peroxide.

Le protoxide de plomb, traité de la même manière que le deutoxide de cuivre, donne des lames carrées et même des petits cubes de protoxide, quand on laisse le creuset exposé peu de temps à la chaleur; mais si cette action est continuée pendant quelque temps, le protoxide passe à l'état de peroxide, qui cristallise en lames hexagonales d'une couleur puce avec des reflets jaunâtres.

Le phosphate et le sulfate de plomb, traités de la même manière, sont entièrement décomposés par la potasse, suivant la durée de l'expérience et le degré de chaleur. On obtient des cristaux de protoxide ou de deutoxide.

L'oxide de cobalt a été obtenu par la même méthode en lames carrées qui paraissent dépendre du même système cristallin que les cristaux de deutoxide avec lesquels ils sont isomorphes. L'oxide de zinc se présente sous la forme d'aiguilles cristallisées de couleur jaune sale. L'oxide de cobalt n'a pu donner des cristaux, ainsi que le peroxide de fer, qui se dissout très-bien à l'aide de la chaleur dans celui de potassium, et dont il se sépare par le lavage en flocons rouges, avec un dégagement rapide de gaz oxigène pur. Tels sont les oxides qu'on a pu obtenir cristallisés jusqu'ici par le procédé que nous venons d'indiquer.

§ III. *De la dissolution du sulfate de baryte et du stéaschiste dans les eaux acidules carbonatées.*

1189. M. Fournet, pendant qu'il dirigeait l'exploitation de la mine de plomb argentifère de Pontgibaud, a eu occasion de constater un fait qui n'est pas sans intérêt pour les personnes qui s'occupent des altérations des roches.

Dans le filon du Pré, au-dessous de Barbecot, les mineurs furent obligés d'arrêter les travaux de recherche par un jet d'eau extrêmement violent, auquel un coup de poudre venait de donner une issue. L'eau était chargée d'acide carbonique tellement condensé qu'il fut impossible de pénétrer dans la galerie pendant plusieurs jours.

L'eau qui sortit dans les premiers moments était surchargée d'une matière blanche qui était tenue en suspension. Cette matière fut remplacée ensuite par des dépôts ferrugineux.

M. Fournet, aussitôt qu'il fut possible de s'avancer dans la galerie, reconnut que cette eau sortait d'une masse de baryte sulfatée caverneuse. Les parois en étaient altérées et même cariées à un tel point que la texture cristalline de la baryte sulfatée avait été mise à nu comme dans le moiré métallique. Dès lors il fut démontré que le sulfate de baryte était décomposé par les bicarbonates des eaux minérales de la même manière que le sulfate de plomb est attaqué par le bicarbonate de potasse.

Il fut constaté aussi que des fragments de stéaschiste, qui étaient empâtés dans le sulfate de baryte, avaient éprouvé l'action dissolvante des eaux acidules : il ne restait plus, dans quelques parties, que des grains quartzeux.

Ces observations sont, comme nous l'avons déjà dit, d'une grande importance pour les phénomènes géologiques.

§ IV. *Actions lentes à l'aide desquelles on forme des silicates.*

1190. M. Cagniard-Latour a imaginé plusieurs procédés fondés sur des actions lentes, pour former plusieurs substances dont on retrouve les analogues dans la nature. Nous allons citer quelques-unes des expériences qu'il a faites à cet égard.

Première expérience. — Du noir de fumée a été traité à chaud par l'acide nitrique concentré; la liqueur, après avoir été décantée, a été exposée sous cloche, pendant plusieurs mois, à l'action de la lumière solaire; à fur et à mesure que l'acide diminuait, on ajoutait de l'eau ou de l'acide. Il s'est formé peu à peu des concrétions siliceuses, dont quelques-unes affectaient la forme pyramidale. L'analyse a indiqué 2 pour cent de carbone. Ces concrétions, soumises, dans un creuset de platine, à l'action de la potasse caustique, à la flamme d'une lampe à alcool, ont diminué de grosseur. Leur dureté est suffisante pour rayer le cristal de roche.

Le noir de fumée, comme on sait, renferme un grand nombre de substances. Le charbon, d'après Braconnot, y entre pour 79,1 pour cent; on y trouve des sulfates à base de potasse de chaux et d'ammoniaque, de la silice, etc., etc. Il n'est donc pas étonnant que l'acide nitrique ait dissous du carbone et de la silice, si celle-ci surtout s'y trouvait dans un grand état de division. En exposant la solution à la lumière solaire, l'acide nitrique a été décomposé peu à peu, et rien ne s'est opposé alors à ce que la silice en cristallisant s'emparât d'une petite quantité de carbone.

Deuxième expérience. — On a pris du fer limoneux du Berry; après l'avoir réduit en poudre très-fine, on l'a traité par l'acide hydro-chlorique. La solution ayant été étendue d'eau, a été filtrée; on l'a mise dans une grande cucurbite, puis on a suspendu dedans une capsule de verre dans laquelle se trouvait un morceau de marbre blanc. Ce marbre a été attaqué peu à peu, il y a eu dé-

gagement de gaz acide carbonique, dépôt d'oxide de fer et formation de cristaux de un à deux millimètres de longueur, ayant la forme du feldspath. Ces cristaux étaient d'autant plus gros qu'on laissait les substances réagir plus longtemps. Ils sont infusibles et rayent le verre. L'expérience a duré six mois. Le fer limoneux étant un composé de silice, d'alumine et de peroxide de fer, il est probable que l'acide hydro-chlorique a dissous une certaine quantité de ces trois substances et que la réaction de la solution étendue d'eau sur le calcaire, a mis en présence la silice, l'alumine et la chaux, qui se seront combinées de manière à former du feldspath à base de chaux, à mesure que l'excès d'acide a été enlevé par la chaux.

Troisième expérience.—On a versé un lait de chaux dans une solution de perchlorure de fer; le précipité formé, après avoir été lavé à grande eau, a été dissous dans l'acide hydro-chlorique. La dissolution ayant été filtrée par les moyens ordinaires, a été filtrée de nouveau à travers de la craie de Meudon, qu'on avait fait passer dans une batiste très-fine, à l'aide de l'eau pour en séparer les grains quartzeux et toutes les matières étrangères. Il s'est déposé dans la craie de l'oxide de fer. Quand la filtration était difficile, on acidifiait la liqueur. Au bout de quinze jours on a repassé par la batiste le blanc de Meudon, et l'on a traité par l'acide hydro-chlorique la partie qui n'avait pas passé; on a obtenu de petites concrétions siliceuses opalines, dont plusieurs ont la forme de couronnes et présentent une fente du centre à la circonférence; elles sont infusibles au chalumeau et rayent le fer; celles qui sont colorées étant chauffées modérément prennent une teinte enfumée, en raison de la matière organique qu'elles renferment. Ces concrétions doivent leur formation très-probablement à la réaction lente de la dissolution du peroxide de fer et de la silice dans l'acide hydro-chlorique, sur la craie qui renferme aussi de la silice. A mesure que l'excès d'acide se portait sur la chaux de la craie, la silice et le fer se précipitaient.

Les trois expériences que nous venons de rapporter sont importantes en ce qu'elles font connaître quelques circonstances dans lesquelles les particules de la silice prennent un état cristallin, analogue à celui du quartz de la nature.

1190. Nous allons citer encore quelques exemples de formation de cristaux de silice, qui ne sont pas sans intérêt pour l'étude des actions lentes.

On sait, depuis longtemps, que lorsqu'on expose à l'air libre une solution de silice dans la potasse, autrement dit liqueur des cailloux, à mesure que la potasse absorbe l'acide carbonique de l'air, elle abandonne la silice qui cristallise quelquefois en prismes hexaèdres, terminés par des pyramides, comme le quartz naturel, mais on a reconnu que ce quartz renferme toujours une certaine quantité de potasse.

M. Pelouse a conservé, pendant deux ans, de l'acide hydro-chlorique concentré dans une bouteille de verre vert. Il a retrouvé, après ce temps, au fond de la bouteille des grains cristallisés de quartz, contenant environ $\frac{1}{100}$ de potasse. L'acide hydro-chlorique, en réagissant sur le verre, s'est emparé de l'alcali et a mis en liberté la silice qui a cristallisé. Il est infiniment probable que cette substance a été dissoute et que la cristallisation n'a commencé que lorsque l'acide en a été sursaturé.

1191. M. Cagniard-Latour ayant traité des scories de fer, composées en grande partie de silicate de ce métal, par le sous-carbonate de soude, à l'aide de la chaleur, a dissous la combinaison dans l'eau, puis a filtré et a acidifié pour saturer l'excès d'alcali et dissoudre la silice. Cette dissolution, abandonnée à elle-même, a déposé, par l'évaporation, des grains siliceux cristallisés, infusibles au chalumeau et ne rayant pas le verre.

1192. Nous-même ayant mis dans un tube fermé par un bout un silicate et un aluminate de cuivre avec une lame de fer et une solution saturée de sel marin, peu à

peu les deux sels insolubles ont été décomposés : le cuivre s'est précipité sur le fer, la silice et l'alumine se sont combinées et ont déposé sur la paroi du tube de très-petits cristaux à face rectangulaire, qui ne peuvent appartenir qu'à un silicate ou à un sous-silicate d'alumine, tel que le disthène d'Haüy, qui a pour forme primitive un prisme oblique quadrangulaire, dont les faces longitudinales sont rectangulaires.

LIVRE XII.

DE L'INFLUENCE DES EFFETS ÉLECTRIQUES SUR LES PHÉNOMÈNES GÉOLOGIQUES.

CHAPITRE PREMIER.

DESCRIPTION DES PRINCIPAUX PHÉNOMÈNES GÉOLOGIQUES.

§ Ier. *Considérations générales.*

1194. Avant de chercher à reconnaître si les phénomènes géologiques sont influencés par l'électricité, il faut s'assurer s'il existe ou non des courants électriques dans le globe, que l'on puisse reconnaître à l'aide de nos appareils.

M. Ampère, dont les idées grandes et neuves en philosophie devançaient quelquefois l'expérience, a admis, pour expliquer l'action de la terre sur l'aiguille aimantée, qu'il devait exister des courants électriques disséminés dans la croûte du globe, et dirigés de l'est à l'ouest. Les phénomènes d'induction découverts par M. Faraday ont contribué à donner de la vraisemblance à cette hypothèse, mais il faut encore de nouveaux faits pour l'admettre définitivement.

La question de l'existence des courants dans le globe étant de la plus haute importance pour l'explication d'un

grand nombre de phénomènes naturels, nous allons essayer de la traiter aussi complétement que le permet l'état actuel de la science. Le moyen le plus direct pour y parvenir, est de faire connaître toutes les causes qui peuvent donner lieu à un dégagement d'électricité dans l'intérieur du globe; mais il faut pour cela prendre la terre à son origine et suivre, pour ainsi dire pas à pas, les changements qu'elle a éprouvés depuis son origine jusqu'à nos jours, sans cependant entrer dans des détails qui nous éloigneraient trop du but que nous nous proposons. Nous présenterons d'abord les faits, puis les hypothèses que l'on a imaginées pour les expliquer; nous en discuterons le mérite, et nous aborderons ensuite la question des courants électriques terrestres.

§ II. *Effets généraux observés à la surface du globe.*

1195. Lorsqu'un voyageur parcourt un pays de plaines, il rencontre fréquemment sous le sol des dépôts en couches horizontales de substances renfermant des débris de corps organisés, qui sont souvent dans un état parfait de conservation, tels que des coquilles pourvues encore de leurs tests, de leurs pointes et de leurs contours les plus délicats. Il admet sur-le-champ que ces dépôts ont été formés par des eaux qui ont séjourné longtemps dans ces localités. Mais s'il se transporte sur les hautes montagnes ou dans les vallées, la scène change: il voit de tous côtés des monceaux de ruines qui lui annoncent que des révolutions et des catastrophes violentes ont bouleversé la surface du globe dans plusieurs parties. Ces dépôts qui se trouvaient dans les plaines en couches horizontales, sont ici relevés, et d'autant plus qu'ils sont rapprochés davantage des hautes chaînes. Leur inclinaison est la même, mais en sens inverse sur les revers opposés. Ces faits lui annoncent donc qu'une cause intérieure a soulevé la surface du globe, l'a déchirée et a produit ces montagnes qui la sillonnent dans tous les sens. Son étonnement redouble encore quand

dans l'état de la température, tels sont les signes avant-coureurs d'une éruption volcanique. Cette éruption commence ordinairement par une colonne de fumée épaisse, qui s'élève à une hauteur prodigieuse et finit, quand elle n'a plus de vitesse de projection, par se refouler sur elle-même, de manière à former une série de sphères de vapeurs aqueuses qui, se condensant par le froid des régions supérieures, retombent en pluies abondantes, accompagnées de tonnerres effroyables. Du milieu de cette colonne s'élève une gerbe de feu, visible seulement à sa partie supérieure. Cet ensemble de fumée et de flammes, sillonnées dans tous les sens par la foudre, forme le tableau le plus imposant que la nature puisse nous offrir. Bientôt après, il sort du cratère, avec une vitesse excessive, des pierres incandescentes et une quantité incroyable de cendres d'une si grande ténuité qu'elles peuvent être transportées par le vent à des distances considérables. Ces cendres ne retombent pas toujours sèches sur le sol, car elles sont fréquemment pénétrées de vapeurs aqueuses; des laves en ignition et des produits boueux arrivent ensuite. Ces laves proviennent de substances liquéfiées dans les foyers du volcan, et sont lancées en dehors par la force expansive des fluides élastiques qui se dégagent dans les mêmes foyers; leur surface est agitée par de forts bouillonnements d'où s'échappent du gaz et de la fumée bleuâtre, formée de sel marin ou d'autres substances. Ces laves, en sortant par les bords du cratère, suivent les directions les plus favorables que le terrain leur présente. Au contact de l'air, leur surface, en se refroidissant, se solidifie, et la lave continue à couler dessous jusqu'à ce qu'il se présente un obstacle; alors elle s'y arrête, s'y amoncelle, finit par monter sur la partie solidifiée et continue son cours comme auparavant, jusqu'à ce qu'elle soit arrêtée par un nouvel obstacle. Il arrive souvent que la lave, s'accumulant dans certains endroits, conserve la chaleur si longtemps, en raison de la mauvaise conductibilité des éléments qui la composent, que Dolomieu assure l'avoir

trouvée sensible au Vésuve dans un amas formé depuis dix ans. La surface des laves est ordinairement scorifiée et criblée de petites ouvertures par lesquelles se sont échappés les gaz renfermés dans l'intérieur.

Outre les phénomènes dont on vient de parler, il existe encore dans certains volcans des éruptions boueuses auxquelles sont dus les courants de même nature qui suivent diverses directions sur les flancs des montagnes, comme les laves incandescentes. L'existence de ces éruptions a été constatée par M. de Humboldt dans les volcans en activité du nouveau monde. La remarque faite par ce célèbre voyageur d'une quantité innombrable de petits poissons rejetés dans l'éruption d'un volcan du Mexique, ne laisse aucun doute à cet égard; car si la lave eût été primitivement à l'état d'incandescence, il ne serait resté aucun vestige de la matière animale. Ces poissons étaient en si grand nombre que leur putréfaction répandit dans l'air une odeur infecte qui occasionna des maladies épidémiques. La lave qui renfermait les détritus de ces poissons s'est changée en une espèce de porphyre que les naturels du pays exploitent pour s'en servir comme de combustible.

Il existe une différence bien marquée entre les terrains volcaniques de l'ancien monde et ceux du nouveau. Les premiers ont la forme d'un pain de sucre, et la matière est continuellement rejetée de manière à l'augmenter en hauteur; dans les terrains volcaniques du nouveau monde, il y a quelquefois soulèvement de terrain, et les éruptions se font par des cheminées dans l'axe du cône soulevé. De plus, les volcans de notre continent sont toujours dans des pays de montagnes, à peu de distance de la mer, tandis que ceux de l'Amérique sont situés assez loin des côtes et sur des plateaux assez élevés pour que les laves ne puissent s'épancher à leur surface.

Les éruptions d'un même volcan ont souvent lieu à des époques éloignées; on a remarqué qu'elles sont d'autant plus rares que les montagnes volcaniques sont plus élevées.

Les volcans qui s'éteignent se changent souvent en soufrières, ou montagnes qui dégagent du soufre, comme la Solfatare près de Pouzzole. Vers la fin des éruptions, il s'élève de la terre des miasmes infects qui nuisent à la santé des hommes et des animaux.

Les phénomènes volcaniques déterminent souvent des changements dans la forme du sol; des parties de la surface s'élèvent subitement. Souvent il se forme à la surface de la terre des fentes et des crevasses par lesquelles les forces volcaniques manifestent leur activité.

Des sources d'eaux acidulées sourdent quelquefois. D'autres sources, déjà existantes, éprouvent des changements remarquables.

Les masses de rochers que lancent les volcans sont ou des pierres volcaniques, des ponces, des scories, des fragments de laves, des masses vitrifiées, des cristaux amoncelés, des brèches, etc. Ces masses sont projetées quelquefois à des hauteurs considérables. Le Cotopaxi a lancé, en 1533, des rochers de trois à quatre mètres de diamètre.

Le Vésuve lance parfois du granite, du mica-schiste et autres substances qui, n'ayant pas été altérées par le feu, font connaître la nature des terrains que traversent les matières volcaniques; les gaz qui se dégagent de ce volcan sont les acides sulfureux et hydro-chlorique, quelquefois l'acide carbonique et rarement l'azote. Le sel marin, le sel ammoniac, les chlorures de cuivre, de fer, l'acide borique, le soufre, le sulfure d'arsenic, se subliment dans les fissures des roches et sur les parois du cratère.

1199. Les volcans du nouveau monde ne dégagent pas les mêmes gaz que le Vésuve. M. Boussingault, qui a examiné la nature des fluides élastiques qui se dégagent des volcans situés entre le 5e degré de latitude nord et la ligne équinoxiale, a reconnu que le volcan du Talima fournit de la vapeur d'eau, du gaz acide carbonique et du gaz acide hydro-sulfurique, ainsi que les volcans de Puracé, de Pastoé et de Tuquères. Le volcan de Com-

bal, situé très-près de la ligne équinoxiale, lui a donné en outre de la vapeur de soufre, et comme produits accidentels, de l'acide sulfureux et de l'azote; on voit, d'après cela, que l'acide hydro-chlorique, l'hydrogène et l'azote ne font pas partie des gaz qui se dégagent des volcans de l'équateur américain.

§ IV. *Hypothèses imaginées pour expliquer les phénomènes géologiques.*

1200. Voilà les faits les plus importants qui peuvent nous éclairer sur la nature des réactions chimiques violentes qui s'opèrent dans l'intérieur du globe. Arrivons actuellement aux hypothèses les plus admissibles qu'on a imaginées pour expliquer non-seulement toutes les actions chimiques qui ont eu lieu depuis que la terre est formée jusqu'à nos jours, mais encore les effets électriques qui en résultent et auxquels on attribue le magnétisme terrestre et d'autres phénomènes dont il sera parlé ci-après. La plupart de nos assertions seront conformes aux idées d'Ampère.

Herschel, pour expliquer la formation de notre globe, a admis que a matière dont tous les astres sont formés a été d'abord à l'état gazeux. Voici les observations qui lui ont servi à établir cette théorie : Les nébuleuses se montrent à nous sous divers aspects; les unes ne présentent qu'une lumière diffuse et homogène, les autres nous offrent, au milieu de cette même lumière, des points plus brillants qui semblent annoncer un rapprochement plus grand entre les parties et par suite des noyaux liquides ou solides. L'éclat de ces points augmente en intensité à mesure que la lumière diffuse s'affaiblit. Ces apparences paraissent indiquer les diverses phases qu'éprouvent les corps célestes dans leur formation. Chaque nébuleuse serait donc le germe d'un système de monde analogue à notre système planétaire.

1201. Ampère, en partant de ces idées, suppose que

tous les corps qui ont concouru à la formation de notre système planétaire possédaient une température plus élevée que celle à laquelle celui de tous les corps qui est le moins volatil resterait à l'état liquide. Le refroidissement s'effectuant peu à peu, par le rayonnement dans les espaces célestes, il sera arrivé un instant où il y aura eu un premier dépôt, formé d'une seule substance simple ou composée, attendu qu'il serait difficile d'admettre que deux substances différentes se liquéfiassent précisément au même degré de température. Cette masse liquide, en raison de l'attraction mutuelle de ses parties, aura pris la forme d'un sphéroïde aplati, si elle était soumise à un mouvement de rotation sur elle-même. Le refroidissement continuant, une seconde substance gazeuse se sera liquéfiée et aura formé un dépôt concentrique sur le premier noyau. Il se sera déposé ainsi diverses substances qui auront passé de l'état gazeux à l'état solide par suite de refroidissements successifs. Les parties centrales devaient toujours posséder une température supérieure à celle des couches extérieures.

Jusqu'ici nous avons négligé la réaction chimique que les diverses substances, qui passaient à l'état liquide ou à l'état gazeux, pouvaient exercer les unes sur les autres. Voyons ce qui a dû alors arriver.

Lorsqu'une seconde couche s'est déposée à l'état liquide ou à l'état solide, il a dû en résulter une action chimique, de nouvelles combinaisons solides et liquides, un dégagement de chaleur, des explosions et des déchirements, et même retour à l'état gazeux de quelques-uns des éléments contenus dans les couches déjà formées; puis soulèvement de la surface dans quelques parties; des couches inférieures qui étaient d'abord solidifiées, ont donc pu revenir à l'état liquide. Dans ce cas, le maximum d'élévation de température devait se trouver non au centre, mais au contact même des couches, dont les parties réagissaient les unes sur les autres.

On conçoit que les phénomènes que nous venons de décrire, sur la première couche qui se trouvait à l'état

liquide, ont dû se répéter chaque fois qu'il s'en formait de nouvelles capables de réagir chimiquement sur les parties constituantes de la couche formée antérieurement.

Il a pu se faire que deux couches contiguës n'exerçassent aucune action l'une sur l'autre, mais que celle qui était placée au-dessus, en pénétrant par des fissures, arrivât jusqu'à une couche attaquable. Dans ce cas, il a dû résulter des explosions capables de soulever les croûtes déjà formées. Voilà comme on peut expliquer les révolutions qui ont changé, à diverses époques, la configuration du globe. D'après cette manière de voir, la température de la terre, au lieu de se refroidir graduellement, aura dû s'élever d'une manière brusque, toutes les fois que les réactions chimiques dont on vient de parler se seront produites. Il sera arrivé un point où il n'y aura plus eu que l'eau qui aura réagi chimiquement.

Ampère regarde la présence de la grande quantité d'azote qui se trouve dans l'atmosphère comme une preuve des bouleversements qu'a produits sur le globe la décomposition des corps oxigénés par les métaux. Il pense que cet azote a dû être combiné dans l'origine avec l'oxigène, de manière à produire de l'acide nitreux et de l'acide nitrique. Tout l'oxigène de ces acides aura servi à former la silice, l'alumine, la chaux, etc. L'oxigène qui reste dans l'atmosphère est précisément celui qui n'est pas entré en combinaison. Il est bien certain que lorsque l'acide nitrique a réagi sur les métaux, il s'est formé bientôt une couche oxidée avec un dégagement considérable de chaleur qui a dû volatiliser une portion des liquides déjà produits. Le refroidissement continuant, il se sera formé un vaste océan d'acide nitrique qui n'aura pas attaqué la couche oxidée; la quantité d'acide augmentant chaque jour, il aura pénétré par des fissures dans l'intérieur, et il en sera résulté des actions violentes qui auront fait voler la croûte en éclats.

Tous ces phénomènes auront diminué d'intensité à mesure que la croûte aura pris plus d'épaisseur; mais

aussi plus les cataclysmes devenaient rares, plus ils étaient violents. On conçoit alors que la terre a dû se hérisser de montagnes provenant des éclats de la croûte soulevée suivant diverses inclinaisons. Il sera arrivé un instant où la terre n'aura plus été entourée que d'une atmosphère formée de fluides élastiques permanents dans des proportions fort différentes: par exemple, dans ces premiers temps, comme portent à le croire les observations de M. Ad. Brongniart, l'atmosphère renfermait une plus grande quantité d'acide carbonique qu'elle n'en contient aujourd'hui. Cette atmosphère était impropre à la respiration, mais devait contribuer puissamment à la végétation, qui trouvait dans l'air une plus grande quantité de carbone qu'il ne peut lui en fournir aujourd'hui. Cette puissance de la végétation était favorisée par un plus haut degré de température.

Voilà comme on peut concevoir l'apparition des végétaux gigantesques avant celle des animaux.

On voit parfaitement que toutes les fois qu'il y avait un grand cataclysme, la température du globe s'élevait considérablement et devait empêcher le développement de tout corps organisé, jusqu'à ce que la température fût abaissée; c'est ce que prouve effectivement l'existence de couches exemptes de corps organisés entre des couches qui nous offrent des débris nombreux de ces corps.

C'est à cette époque que les débris des forêts, en se décomposant, auront donné naissance aux grands amas de houille.

Aujourd'hui que la croûte d'oxide qui nous sépare du noyau non oxidé a une grande épaisseur, les bouleversements sont devenus très-rares; la résistance qu'elle oppose est telle que lorsqu'il y a une fissure, l'explosion se fait isolément. Ces effets ne s'étendent point à toute la terre; quoique le choc se propage à de grandes distances, il ne s'opère que des déjections partielles.

L'existence d'une couche non oxidée, signalée par Davy et admise par Ampère, permet d'expliquer les volcans, sans qu'il soit nécessaire de recourir à l'hypo-

thèse d'une chaleur énorme que posséderaient les parties centrales de la terre.

D'après cette manière de voir, un volcan ne serait autre chose qu'une fissure permanente qui servirait à établir la communication entre la couche non oxidée et les liquides qui se trouvent à la surface du globe. Quand le contact a lieu, il se produit des élévations de terrain, puisque les substances non oxidées en s'oxidant augmentent de volume. Quand la réaction a lieu, c'est au contact des deux corps que se dégage le plus de chaleur, laquelle se propage dans le globe, au-dessus et au-dessous.

La théorie de M. Ampère paraît être opposée à l'hypothèse de ceux qui admettent une chaleur centrale qui tient en fusion toutes les substances qui forment le noyau du globe. Suivant lui, si cette liquidité du noyau de la terre existait, la lune exercerait sur la masse de liquide une action d'où résulterait des marées analogues à celles de nos mers, dont les effets, sur l'enveloppe de la terre, seraient terribles en raison de l'étendue et de la densité du liquide.

1202. Reprenons la théorie de Davy, et par suite celle d'Ampère, pour faire connaître les objections qu'on y a faites.

Davy, aussitôt après la découverte des métaux, des terres et des alcalis, supposa que ces mêmes métaux existaient à de grandes profondeurs dans la terre et que leur contact avec l'eau produisait tous les effets volcaniques connus. Suivant ce célèbre chimiste, les changements qui produisent les feux volcaniques ont lieu dans d'immenses cavités souterraines, où l'air pénètre jusqu'aux substances actives, longtemps avant que celles-ci atteignent la surface extérieure.

Le tonnerre souterrain entendu à de si grandes distances sous le Vésuve est, suivant lui, presque une démonstration de grandes cavités souterraines, remplies de substances aériformes. Quand le volcan est tranquille, elles doivent se remplir d'air atmosphérique. L'air et la vapeur d'eau renfermés dans ces cavités, agissant sur

les métaux des terres, sont la cause des phénomènes volcaniques. Si les laves peuvent être ainsi formées, le phénomène entier se trouve expliqué par l'action de l'eau de mer et de l'air sur les métaux. Le voisinage des grands volcans, des côtes de la mer, vient à l'appui de cette explication. Quand ils en sont plus éloignés, comme ceux de l'Amérique du Sud, l'eau peut venir de grands lacs souterrains, dont M. de Humboldt a signalé l'existence, en indiquant des poissons dans des produits volcaniques.

1203. M. Gay-Lussac a fait à cette théorie des objections sérieuses: Comment l'air pourrait-il pénétrer dans les foyers volcaniques, quand il y existe du dedans au dehors une pression que l'on peut évaluer à 300 atmosphères environ, puisqu'elle élève la lave, trois fois plus pesante que l'eau, à une hauteur de plus de mille mètres.

Si l'air pouvait s'y introduire, les tremblements de terre, suivant la manière de voir de Davy, deviendraient impossibles. D'un autre côté, si les actions volcaniques étaient dues à la décomposition de l'eau par les métaux, des terres et des alcalis, il devrait y avoir un dégagement énorme de gaz hydrogène; or, on n'aperçoit jamais aucune inflammation de ce gaz au-dessus du cratère. Il pourrait se faire cependant que ce gaz, en se combinant avec le chlore, formât de l'acide hydro-chlorique; mais dans ce cas la quantité de cet acide devrait être plus considérable qu'elle n'est réellement.

Suivant M. Gay-Lussac, les phénomènes volcaniques pourraient être dus à l'action des eaux de la mer sur les chlorures des métaux, des terres et des alcalis, laquelle dégage probablement assez de chaleur pour vaporiser de l'eau, décomposer le sel marin, et produire tous les autres effets. Quant à la formation de l'acide sulfureux, il faudrait admettre qu'il existe avec les chlorures, des sulfures qui sont également décomposés par la haute température des réactions chimiques. Alors le soufre en vapeur, s'élevant avec les autres matières, se changerait en acide sulfureux aussitôt qu'il aurait le contact de l'air.

Il est très-probable que l'eau de la mer pénètre dans les foyers volcaniques; mais pourquoi la lave ne sort-elle pas aussi par les mêmes canaux conducteurs, puisqu'elle y trouverait une résistance moindre que partout ailleurs? On répond à cette objection que les longues intermittences des volcans font présumer que l'eau pénètre peu à peu par sa propre pression, dans des fissures imperméables et s'y accumule dans de vastes cavités que renferme la terre. Les feux volcaniques se rallument ensuite peu à peu, et la lave, après avoir obstrué les canaux par lesquels l'eau était arrivée, s'élève par son soupirail accoutumé.

1204. Enfin, nous terminerons ce qui concerne les volcans, dont nous avons grand intérêt à connaître les effets, par l'exposé des considérations que nous devons à M. de Humboldt sur les volcans en général, parce qu'elles nous fourniront quelques données utiles à la théorie électro-chimique du globe.

Les volcans enflammés paraissent être l'effet d'une communication permanente entre l'intérieur de la terre en fusion et l'atmosphère. Sur la crête des Cordilières du nouveau monde, comme dans le sud de l'Europe et dans l'ouest de l'Asie, il existe une liaison intime entre l'action chimique des volcans proprement dits, qui produisent des roches, parce que leur forme et leur position permettent une issue plus facile aux matières en fusion, et celle des volcans de boue en général, lançant d'abord des blocs, des flammes et des vapeurs acides, puis vomissant plus tard des argiles boueuses, du naphte, de l'hydrogène mêlé d'acide carbonique et de l'azote très-pur. L'action des volcans manifeste cette même liaison avec la formation, tantôt lente, tantôt brusque, des bancs de gypse et de sel gemme anhydre qui renferment du pétrole, de l'hydrogène condensé, du fer sulfuré, et quelquefois des masses considérables de galène, comme au Rio-Hualaga, à l'est des Andes du Pérou. Elle la manifeste encore avec l'origine des sources thermales, le groupement des métaux, déposés à diverses époques de haut

en bas dans les filons, dans les amas et dans les roches altérées qui avoisinent les crevasses métallifères; enfin avec les tremblements de terre, dont les effets ne sont pas toujours dynamiques, mais qui sont accompagnés quelquefois de phénomènes chimiques, et avec les soulèvements instantanés et très-lents que l'on aperçoit après de longues périodes sur quelques parties de la surface du globe.

L'analogie de faits actuels bien observés avec des faits anciens nous permet de concevoir ce qui s'est passé à des époques reculées, qui ont précédé les temps historiques. Cette action du dedans au dehors est aujourd'hui très-affaiblie et ne produit des roches qu'autour de petites ouvertures circulaires, ou sur des crevasses longitudinales de peu d'étendue; elle ne manifeste non plus sa puissance intérieure à de grandes distances qu'en ébranlant la croûte de notre globe dans des directions qui restent les mêmes pendant un grand nombre de siècles.

On voit donc que l'époque des grandes révolutions géognostiques était celle où les communications entre l'intérieur et l'extérieur du globe étaient plus fréquentes et en même temps plus nombreuses qu'elles ne le sont maintenant, et où la tendance a établir ces communications a fait soulever à différents âges et dans diverses directions les chaînes de montagnes qui recouvrent maintenant la surface du globe.

§ V. *Des effets électriques qui ont accompagné et accompagnent encore les phénomènes géologiques.*

1205. Dans les premiers âges du monde, les actions chimiques qui avaient lieu entre les couches de la terre, qui se déposaient successivement, étaient uniformément réparties autour du noyau primitif. Les effets électriques qui accompagnaient ces actions devaient être tumultueux, c'est-à-dire que toutes les fois que quelques-unes des substances formées n'entraient pas en vapeur, il y avait recomposition immédiate des deux électricités dé-

gagées dans les points mêmes où la réaction chimique s'effectuait. Mais lorsque plusieurs de ces substances se gazéifiaient, elles emportaient avec elles une des deux électricités dont l'espèce dépendait de la nature de ces substances. La foudre devait sillonner alors continuellement les amas de vapeurs qui entouraient le noyau primitif, absolument comme dans les éruptions volcaniques où il arrive fréquemment que les vapeurs aqueuses qui se condensent par le froid des régions supérieures, retombent en pluies abondantes, accompagnées de coups de tonnerre.

Les courants électriques devaient alors être peu sensibles, parce que leur production exige la présence d'un troisième corps inerte, en contact avec deux autres qui réagissent chimiquement l'un sur l'autre.

Mais lorsqu'il est arrivé que deux couches contiguës n'exerçaient aucune action l'une sur l'autre, et que celle qui était au-dessus pénétrait par des fissures jusqu'à une couche attaquable, il a dû se produire des courants électriques, toutes les fois que les couches intermédiaires étaient conductrices de l'électricité.

Des effets semblables auront eu lieu quand, par suite de boursouflements de la croûte et du refroidissement, des vides se sont formés entre les diverses couches déjà déposées, lesquels auront été remplis de liquides ou d'autres corps conducteurs.

1206. Nous avons vu précédemment qu'il existe dans tous les pays à volcans une communication permanente entre l'intérieur de la terre et sa surface, au moyen de nombreuses fissures par lesquelles s'infiltrent les eaux de la mer qui vont réagir, soit sur les métaux des terres et des alcalis, soit sur les chlorures métalliques, et d'où résultent des effets électriques tels, que les métaux prennent l'électricité négative, la vapeur d'eau et les gaz l'électricité positive. Une partie de cette dernière électricité est apportée dans l'atmosphère par les déjections volcaniques, l'autre tend à se combiner avec l'électricité négative des bases, en suivant tous les corps conducteurs

qui établissent la communication entre les métaux ou leurs chlorures et les substances solides, liquides et gazeuses qui remplissent les fissures. On conçoit dès lors qu'il doit circuler dans l'intérieur du globe une foule de courants électriques partiels, qui produisent des réactions électro-chimiques, dont nous ne pouvons apprécier toute l'étendue, mais qui bien certainement donnent naissance à de nombreux composés.

Tout porte donc à croire qu'il existe dans la terre, jusqu'à une certaine profondeur, une multitude de courants électriques dirigés dans toutes sortes de sens, et dont la résultante doit exercer une action sur l'aiguille aimantée. Peut-être cette résultante est-elle la cause du magnétisme terrestre; c'est une question que nous discuterons plus en détail en traitant des phénomènes du magnétisme du globe.

Ce ne sont pas là de simples conjectures, mais bien des conséquences rigoureuses de faits bien constatés, puisque nous savons que les vapeurs qui sortent des cratères dans les éruptions, apportent avec elles une quantité suffisante d'électricité pour que la foudre gronde quand ces vapeurs se résolvent en pluie.

1207. Voyons maintenant si d'autres causes que des réactions chimiques ne donneraient pas naissance aussi à des courants électriques terrestres.

On a dit que le mouvement de rotation qu'éprouve la terre pouvait faire naître des courants: on s'appuyait pour cela sur l'action que l'aiguille aimantée éprouve de la part d'un disque tournant; mais cet effet ne peut s'appliquer au cas du globe terrestre, attendu que l'aiguille participe à son mouvement propre et qu'elle est par rapport à lui dans un repos relatif.

1208. On a avancé aussi que l'accroissement régulier de la température, en pénétrant dans la terre, indique l'état croissant de la chaleur au centre, et qu'il doit exister dès lors dans la croûte de la terre des courants thermo-électriques, produits par la différence de température entre les points de cette surface que réchauffe le soleil

et ceux qu'il n'a pas encore échauffés. Mais on ne conçoit pas comment une différence de température aussi faible, jointe à une conductibilité aussi mauvaise pour la chaleur ou l'électricité que celle de la plupart des corps qui forment la surface, pourrait transmettre les courants. Dans l'état actuel des choses, on est donc forcé d'avoir recours à une origine électro-chimique pour expliquer l'existence des courants électriques qui sont censés produire le magnétisme terrestre.

§ VI. *Des tentatives faites pour reconnaître les courants électriques existant dans les filons.*

1209. Les courants électriques peuvent être rendus sensibles à nos yeux, quand ils circulent dans des corps conducteurs, au moyen de l'aiguille aimantée placée dans leur sphère d'activité, de conducteurs métalliques en communication avec un galvanomètre dont les deux extrémités communiquent avec deux portions de ces conducteurs, ou bien à l'aide d'effets électro-chimiques.

1210. S'il s'agit de constater l'existence de courants dans les filons, il faut mettre en contact deux portions du filon avec les deux extrémités du multiplicateur; mais on ne peut obtenir des effets qu'autant que ces deux portions sont formées de substances conductrices, à moins qu'elles ne possèdent chacune une charge d'électricité libre de nature contraire, dont la recomposition produit un courant instantané. Ainsi, avant de se livrer à des recherches de ce genre, il faut s'assurer si les diverses substances qui se trouvent ordinairement dans les filons, et sur lesquelles on applique les conducteurs, sont rangées parmi les corps que nous considérons comme bons conducteurs.

M. Fox, qui a fait quelques expériences à ce sujet, a déterminé la conductibilité relative d'un certain nombre de substances minérales, lorsqu'on les plonge dans l'eau ou dans différentes solutions acides et alcalines; il a formé le tableau suivant dans lequel chaque substance est né-

gative par rapport à celle qui la suit : il ne dit pas quel liquide il a employé, nous devons supposer que c'est l'eau :

Peroxide de manganèse.
Rhodium.
Aimant.
Platine.
Pyrites arsenicales.
Plombagine.
Pyrites de fer.
Cobalt arsenical.
Pyrites cuivreuses.
Cuivre rouge.
Galène.
Or natif.
Nickel cuprifère.
Cuivre vitreux.
Argent.
Cuivre.

1211. M. Fox a comparé les effets électro-chimiques de divers couples métallifères, plongés dans plusieurs dissolutions. Les résultats qu'il a obtenus en faisant usage successivement d'eau de mer et d'acide hydrochlorique étendu de 30 parties d'eau, sont consignés dans le tableau suivant : nous ferons remarquer que les résultats sont souvent modifiés, comme on devait s'y attendre, d'une manière bien marquée, suivant que les corps sont exposés plus ou moins de temps à l'action des solutions. Nous avons exposé avec trop de détails tout ce qui concerne les effets électro-chimiques produits dans cette circonstance pour que nous nous y arrêtions de nouveau.

	ZINC.		CUIVRE.		FER.		PLOMB.	
	Eau de mer.	Dissolution d'aeide muriatique	Eau de mer	Dissolution d'acide muriatique.	Eau de mer.	Dissolution d'acide muriatique.	Eau de mer.	Dissolution d'acide muriatique.
Manganèse (cristallisé)	56°	60°	35°	45°	52°	54°	50°	56°
Aimant...	41	58	21	29	33	48	32	47
Platine.	21	46	11	5	21	23	15	21
Plombagine.........	52	56	23	31	45	45	42	45
Pyrites de fer.	34	38	7	8	20	29	20	19
Pyrites de cuivre	49	57	36	31	43	44	45	43
Cuivre rouge.	44	45	14	10	33	40	32	38
Galène	47	50	19	27	36	41	37	37
Or	26	38	11	14	14	30	25	24
Cuivre vitreux.. ..	42	51	16	24	17	25	24	32
Argent....	56	59	22	21	47	45	44	42
Cuivre en lames .. .	55	58	....	....	19	37	40	38

M. Fox fait observer que si l'on considère les rapports électriques des différents minerais métallifères sous un point de vue géologique, on voit que presque tous ceux qui sont associés ordinairement dans les mêmes filons s'accordent sous ce rapport que leur action voltaïque réciproque est généralement très-petite. Il en infère de là que, s'il en était autrement, les apparences de décomposition dans la même localité seraient beaucoup plus marquées et plus générales qu'elles ne le sont. Il fait observer aussi que lorsque des pyrites de cuivre et du cuivre vitreux forment une combinaison voltaïque avec de l'eau pure ou de l'eau de source, les effets électro-magnétiques sont considérables. Nous nous bornons à faire remarquer que M. Fox paraît ignorer que les effets électro-chimiques, produits dans le contact de deux corps solides et d'un liquide, dépendent uniquement des

relations chimiques de leurs parties constituantes et doivent varier fréquemment.

1212. Arrivons maintenant aux recherches du même physicien sur les propriétés électro-magnétiques des veines métallifères de Cornouailles, dont il s'occupe depuis six ans.

L'appareil dont il a fait usage pour étudier ces propriétés, se compose de petites plaques de cuivre fixées au moyen de clous de fer sur les parties des veines soumises à l'expérience ou pressées fortement par des étais de bois et mises en communication avec les deux extrémités du fil d'un multiplicateur à fil court et à aiguilles non compensées.

M. Fox dit avoir reconnu avec cet appareil les effets suivants : L'intensité du courant varie suivant les localités ; tantôt la déviation de l'aiguille aimantée est faible, tantôt elle est très-considérable ; en général, elle est d'autant plus grande que la veine renferme une plus grande quantité de cuivre, et peut-être même en raison de la profondeur des stations. Il ajoute que l'action est nulle ou à peine sensible, selon qu'il y a absence ou peu de substances métalliques. Lorsqu'il n'existe qu'une distance de quelques brasses entre les plaques, dans une direction horizontale, et qu'il se trouve entre elles une grande quantité de cuivre, non interrompue par des substances non conductrices, il n'y a aucune action; mais s'il se trouve par hasard dans la veine du quartz ou de l'argile, l'action est ordinairement bien marquée.

Quand les deux plaques sont placées à diverses profondeurs dans la même veine ou dans des veines différentes, l'action électrique est en général très-marquée; les courants sont dirigés tantôt dans un sens, tantôt dans un autre. En comparant des veines parallèles, il a cru remarquer que l'électricité positive se dirige du nord au sud, quoiqu'il ait observé le contraire dans quelques cas. Dans des veines dirigées vers le nord, l'est est ordinairement positif et l'ouest négatif. Il a trouvé, en comparant l'état relatif des veines à différentes profondeurs, que les stations inférieures paraissent négatives

par rapport à celles d'en haut. Cependant il a trouvé dans quelques cas des exceptions, surtout quand une veine transversale de quartz ou d'argile est interposée entre les plaques. Il n'y a donc aucune marche régulière dans la direction des courants.

1213. Si réellement il y avait augmentation progressive d'électricité négative à mesure que l'on descend dans les mines, ce phénomène serait en rapport avec l'accroissement progressif de température. Les effets électriques ne sont influencés, suivant lui, ni par la présence des travailleurs et des lumières, ni par l'explosion de la poudre à canon, etc.

1214. Toutes les substances qui font partie des veines métalliques sont loin de posséder la conductibilité nécessaire pour laisser passer des courants transmis par les parties métalliques. Il range, comme nous l'avons vu, parmi les conducteurs la mine de nickel cuprifère, le sulfure jaune et vitreux du même métal, le sulfure de fer, les pyrites arsenicales, le sulfure de plomb, le cobalt arsenical, le peroxide de manganèse cristallisé, le falerz; parmi les non-conducteurs, il place les sulfures d'argent, de mercure, d'antimoine, de bismuth, d'arsenic (réalgar), de manganèse et de zinc, les combinaisons des métaux avec l'oxigène et les acides.

1215. M. Fox assure avoir reconnu que les roches de Cornouailles, les couches d'argile du Killas paraissent posséder la propriété de conduire l'électricité libre à un faible degré, mais seulement dans le sens de leur clivage. Cet effet ne peut être attribué qu'à l'eau interposée.

Relativement aux propriétés électriques des veines métalliques, il fait observer que les substances qui conduisent l'électricité ont généralement, du moins dans ce comté, des substances non conductrices interposées dans les veines, entre la substance et la surface. Il cite les veines d'étain, qui sont ordinairement entrecoupées par celles de cuivre. Quand elles ne coïncident pas dans leur direction horizontale, les veines conductrices traversent celles qui ne le sont pas.

1216. M. Henwood qui s'est occupé, après M. Fox, des

courants électriques observés dans les mines de Cornouailles, a annoncé que les veines dont elles se composent traversent le granite et les roches de mica ; qu'elles sont formées principalement de quartz avec d'autres terres mêlées en plusieurs endroits de cuivre, de pyrites de fer, de cuivre vitreux, d'oxide d'étain, de blende de galène avec des mélanges, en petite quantité, de cuivre natif, de protoxide et de carbonate de même métal et de sels à base de plomb.

Dans les plus grandes profondeurs où l'on soit parvenu, les rochers de mica ont une température de 2 ou 3° de plus que le granite au même niveau.

Dans plusieurs des mines, même à de grandes profondeurs, l'eau renferme des sels en quantités variables; entre autres, des chlorures de calcium, de sodium, de magnésium, etc.

M. Henwood a fait usage du même mode d'expérimentation que nous avons décrit plus haut. Les plaques métalliques étaient placées à des distances qui variaient depuis quelques pieds jusqu'à plusieurs centaines de pieds, au même niveau ou à des niveaux très-différents.

1217. Les résultats ont été les mêmes, quelles que fussent les directions des veines. Dans celles qui ne produisent que de l'étain, et dont plusieurs sont en contact avec le cuivre, on n'aperçut aucune trace de courant, excepté dans quelques cas où l'espace intermédiaire était rempli d'un riche minerai de cuivre. La présence de l'électricité était plus marquée quand la veine renfermait des pyrites cuivreuses, du cuivre vitreux, du cuivre noir, de la galène et de la blende; elle était inappréciable lorsqu'il n'existait pas de parties métalliques. On a trouvé des veines renfermant des pyrites cuivreuses, du cuivre gris et de la galène; d'autres du carbonate et du phosphate de plomb, du cuivre gris, qui n'indiquaient aucune trace d'électricité.

Il paraît que MM. Fox et Henwood n'ont pas remarqué de rapports entre la direction des veines et celle des courants. Nous rapportons ici le tableau des résultats qu'ils ont obtenus dans un grand nombre d'expériences :

DIRECTION de la veine.	INCLINAISON.	DIRECTION du courant électrique et nombre des observations.	
Est et Ouest	Nord	Est à l'Ouest	18
Idem	Idem	Ouest a l'Est	6
Idem	Sud	Est à l'Ouest	I
Idem	Idem	Ouest à l'Est	35
Nord-Ouest et Sud-Est	Sud-Ouest	Nord-Ouest et Sud-Est	I
Idem	Idem	Sud-Est à Nord-Ouest	8
Nord et Sud	Est	Nord au Sud	1
Idem	Idem	Sud au Nord	3
Idem	Ouest	Nord au Sud	I

Dans les expériences où l'on a mis en communication des parties métallifères à différentes profondeurs, les courants ont été dirigés treize fois de bas en haut et trente-cinq de haut en bas.

Dans trente-six expériences, le courant a été dirigé vers le granite; dans vingt et une la direction a été dans le sens opposé.

1218. Nous ignorons si MM. Fox et Henwood, dans leurs expériences, se sont mis en garde contre toutes les causes d'erreur qui se présentent quand on cherche à constater l'existence de courants électro-chimiques au moyen du multiplicateur. Les résultats qu'ils ont annoncés sont d'une si grande importance pour les réactions électro-chimiques qui s'opèrent dans les filons que nous devons les discuter.

Pour mettre à même le lecteur de juger et d'apprécier l'exactitude du procédé dont M. Fox a fait usage, nous lui rappellerons que lorsque deux lames de platine, en communication avec les deux bouts d'un fil du multiplicateur, sont mises en contact même avec de l'eau distillée, il se produit aussitôt un courant dû à la différence des actions que l'eau exerce sur les corps étrangers adhérents à la surface de chacune des lames. Cet effet a lieu pres-

que toujours quand on ne prend pas la précaution d'enlever les corps étrangers qui adhèrent aux surfaces de platine quand on les retire de l'eau. Si l'on emploie, au lieu de platine, du cuivre, le courant est encore bien plus marqué, attendu que les surfaces n'étant pas parfaitement identiques, l'eau ne les attaque pas également.

Or, M. Fox, dans ses expériences, a fait usage de plaques de cuivre qu'il appliquait sur les veines métallifères, au moyen de clous de fer, ou qu'il pressait fortement au moyen d'étais de bois. Ces deux plaques étaient mises en communication avec un multiplicateur au moyen d'un fil de cuivre.

Ne pouvait-il pas se faire que l'eau qui adhère plus ou moins aux parois des galeries de mine et qui ne contient pas partout les mêmes sels, se comportât par rapport aux plaques de cuivre comme elle le fait dans l'expérience précédente? Il serait à désirer que M. Fox opérât sur des parois parfaitement sèches, conductrices de l'électricité; alors les objections que nous venons de faire tomberaient d'elles-mêmes.

A la vérité, M. Fox, qui a opéré alternativement avec des plaques de cuivre et des plaques de zinc, a observé, dans les deux cas, des courants dirigés dans le même sens : ce résultat est déjà favorable à son opinion, mais il ne suffit pas pour démontrer complétement le fait.

1219. Pour montrer le rôle qu'ont pu jouer et que jouent encore les courants électriques dans les gîtes métallifères, quelques personnes ont avancé, dans ces derniers temps, que les filons avaient été remplis par l'action de courants électriques; mais il suffit d'avoir étudié le mode de remplissage de ces gîtes métallifères pour rejeter une semblable théorie.

Les filons, comme on sait, sont des fentes qui existent dans la plupart des roches composant la croûte de notre globe, et qui sont remplies de substances métalliques ou pierreuses. Les opinions sont partagées sur le mode de remplissage : les uns prétendent que les fentes ont été remplies par voie ignée, d'autres par voie aqueuse; Werner

a soutenu cette dernière doctrine. Suivant ce célèbre géologue, la masse des montagnes a d'abord été meuble et humide, puis en s'affaissant et se desséchant, il s'est formé des fentes qui ont été remplies par en haut par voie de dissolution; mais comme il existe des filons qui paraissent avoir été remplis par en bas, il faut donc admettre le remplissage par sublimation. Hutton, qui est le chef des partisans de la voie ignée, pensait que la chaleur intérieure de la terre était assez considérable pour fondre et réduire en vapeurs les métaux et les terres, qui, en raison de leur force expansive, ont produit des fentes dans les parois solides de la croûte du globe, par où elles se sont échappées, et en se solidifiant ont ainsi donné naissance à des roches cristallisées; c'est ainsi, suivant lui, qu'ont été formés les grands filons de basalte qui traversent les terrains de toutes les époques.

D'après cette manière de voir, les filons ont été ouverts par soulèvement et remplis de bas en haut par sublimation, et de haut en bas par des matières qui ont été détruites et enlevées de la surface du globe par des causes quelconques, et qui sont restées intactes dans les filons.

1220. Tous les faits observés jusqu'ici portent à croire que l'on ne peut admettre l'une de ces hypothèses à l'exclusion de l'autre, attendu que chacune des causes supposées peut avoir concouru, suivant les circonstances, au remplissage des diverses sortes de filons. Les géologues regardent comme certain que les filons qui renferment des débris de roches constituant les assises supérieures des terrains qu'ils traversent et des corps organisés, ont été remplis par leurs ouvertures supérieures; mais il n'en est plus de même pour les filons dont les salbandes et les épontes sont intimement liés ensemble. Dans ce cas, on est obligé de supposer que la formation de la roche, celle du filon et son remplissage ont été presque contemporains. D'un autre côté, quand on voit des amas cristallisés de diverses substances au milieu de roches également cristallisées, enveloppées de toutes parts par elles, de manière à ce que l'on ne puisse dire qu'ils aient

été introduits dans les cavités qu'ils remplissent, ni par en haut ni par en bas, on est porté alors à considérer quelquefois le filon comme une fente ouverte au milieu d'un magma cristallin, pénétré encore de la dissolution en état de précipitation et déposant dans cet espace, moins saturé ou moins épais, des parties d'une structure et d'une nature un peu différentes de celles du reste de la roche. Il est un autre mode de remplissage, c'est celui qui a constitué les filons qui renferment des sulfures métalliques déposés en houppes cristallines sur toutes les parties du filon en saillie et des corps décomposables dans toute dissolution aqueuse, tels que les sulfures, les arséniures métalliques, qui ne peuvent supporter une température élevée sans voir leurs parties constituantes séparées, à moins d'admettre l'action d'une pression considérable.

On voit donc qu'il est à peu près certain que les filons n'ont pas été produits par une cause unique et générale, et que plusieurs causes ont quelquefois concouru à leur formation.

1221. D'après l'exposé rapide que nous venons de présenter de l'état de nos connaissances sur la constitution des filons, il est impossible d'admettre que les fissures, qui se sont ouvertes à diverses époques dans les roches, ont été remplies par des substances transportées par les courants électriques terrestres, attendu que ces courants n'exercent des actions chimiques que là où il existe des corps conducteurs solides et liquides capables de réagir les uns sur les autres; or, les roches ne conduisant pas l'électricité, et les corps solides ne pouvant être que des composés métalliques qui n'existaient pas à l'époque où les fentes ont été formées, il faut donc admettre que des causes autres que les courants électriques ont rempli ces fentes. Le remplissage une fois effectué, en totalité ou en partie, et les eaux arrivant des roches environnantes, c'est alors que les forces électriques ont pu intervenir pour opérer des décompositions et donner naissance à de nouveaux composés; c'est ce dont nous allons nous occuper dans le chapitre suivant.

CHAPITRE II.

DE LA DÉCOMPOSITION DES ROCHES.

§ I^er^. *Considérations générales.*

1222. L'Altération que les roches éprouvent avec le temps avait déjà attiré l'attention de Werner. Ce célèbre géognoste avait remarqué que, dans plusieurs filons, la roche qui en forme le toit et le mur est altérée et décomposée, effet qui a lieu particulièrement dans les montagnes de gneiss, de micaschiste, de porphyre, etc. La décomposition porte ordinairement sur le feldspath, l'amphibole et le mica, et jamais sur le quartz. Cette altération, qui pénètre quelquefois jusqu'à une profondeur de deux mètres dans la roche, a lieu particulièrement là où le minerai est chargé de soufre. Il a remarqué aussi que la partie altérée de la roche conserve souvent intactes ses parties intégrantes, de sorte qu'il n'y a que destruction de l'attraction moléculaire.

Werner attribue ce genre de décomposition, soit à l'action de l'acide carbonique de l'air sur le feldspath du granite et du gneiss, qui se change en kaolin, soit à l'action du sulfate de fer provenant des pyrites sur le feldspath, le mica et même l'amphibole.

La masse des filons, ou du moins plusieurs des substances qu'ils renferment, éprouvent en général une décomposition plus ou moins complète, soit par la réaction des sels tenus en dissolution dans les eaux qui s'y introduisent, soit par l'action de l'air atmosphérique et

de plusieurs causes dont nous avons déjà parlé dans le cours de cet ouvrage et sur lesquelles nous reviendrons dans un instant. Il résulte de ces diverses réactions un grand nombre de composés nouveaux, particulièrement des sulfates, des arseniates, des arseniures, des silicates, des ocres, des oxides métalliques, etc.

§ II. *Des décompositions des granites.*

1223. Le granite étant une des roches les plus répandues sur le globe, nous devons nous occuper d'abord de son altération. La cause qui la détermine est encore enveloppée pour nous d'un profond mystère, car elle est propre à certaines localités, surtout à celles où il se trouve des produits volcaniques, tandis qu'elle n'a pas lieu dans un grand nombre de localités où les roches granitiques sont restées intactes, quoique exposées depuis des siècles aux influences atmosphériques. C'est ainsi que les granites des Alpes n'éprouvent aucune altération bien sensible, tandis que les granites d'Auvergne sont tantôt intacts, tantôt en décomposition légère, tantôt en décomposition complète. Cependant, nous devons faire remarquer que l'on a observé depuis longtemps que le feldspath magnésien et calcaire résistait plus fortement à la décomposition que le feldspath à base de potasse.

1224. Le feldspath est la partie constituante du granite qui, en se décomposant, entraîne la désagrégation de la roche. Le produit de la décomposition est le kaolin; on ne peut douter que les grands amas de kaolin ne proviennent de l'altération du granite : il en a quelquefois la texture et il renferme encore du quartz et du mica qui ont résisté à l'action décomposante.

M. Berthier a prouvé que la potasse n'est pas le seul corps enlevé dans l'acte de la décomposition et qu'il s'échappe encore de la silice, c'est-à-dire que le feldspath perd un silicate de potasse et se transforme en un silicate d'alumine dans lequel les proportions de silice et d'alumine ne sont plus les mêmes que dans le feldspath.

1225. M. Fournet a étudié, pendant son séjour à Pontgibaud, la formation du kaolin dans les filons, dans les parties inférieures des basaltes et à la surface du sol. Ce kaolin provient bien des granites, gneiss et basaltes décomposés superficiellement dans leur place originaire. En suivant l'altération de ces roches, depuis la surface du sol jusqu'à une certaine profondeur, il a trouvé : 1° une zone supérieure de couleur jaune ou rouge, due à la suroxidation du fer; 2° une zone mitoyenne de couleur verte très-prononcée; 3° une zone inférieure offrant tous les caractères d'un granite intact, mais qui se désagrége complétement au moindre choc. Il a trouvé enfin au-dessous, en liaison intime avec la précédente zone, le granite solide et non altéré. On voit donc que la décomposition de ces roches a été successive et a commencé par la partie la plus voisine du sol; dès lors elle est due aux influences atmosphériques.

Nous avons eu occasion de faire des observations semblables dans le Limousin.

1226. Dans les Vosges, on a remarqué que le granite est profondément désagrégé, sur les pentes horizontales seulement, près de leur contact avec les formations secondaires. Il est probable que cet effet est dû en partie à ce que le contact du granite et des roches secondaires est accompagné de solutions de continuité plus ou moins sensibles, qui favorisent les infiltrations des eaux et par suite l'action des agents atmosphériques, suivie de réactions électro-chimiques.

M. Fournet a cherché aussi à se rendre compte de la manière dont s'opère la décomposition des granites. Il part pour cela du principe que leur masse a été successivement désagrégée par suite d'un effet de dimorphisme qui a changé leur texture cristalline. Il faut donc admettre que les parties constituantes de ces roches, lors de leur formation, se trouvaient dans un état d'équilibre instable qu'elles ont perdu peu à peu par des influences atmosphériques ou autres. Cette supposition est très-admissible, puisque nous avons déjà cité plusieurs

substances qui jouissent de cette propriété (1062). On est assez porté, en outre, à partager cette opinion, quand on examine ce qui se passe dans les basaltes et les phonolithes. On voit d'abord une série de petites taches grises, plus ou moins rapprochées et rayonnantes, qui résultent d'une division extrême des parties et ne peuvent provenir que des effets de contraction et de dilatation, lesquels divisent ordinairement la masse sans la porphyriser. L'altération continuant toujours, la masse se divise en une multitude de fissures, dirigées ordinairement suivant trois plans rectangulaires qui déterminent une désagrégation totale cuboïde, ou plutôt sphérique, par l'émoussement des angles. L'exfoliation, par couches concentriques, survient après par suite du gonflement de la masse. L'état de désagrégation des diverses parties qui se détachent est tel que les agents chimiques, qui se trouvent dans l'air ou à la surface de la terre, les attaquent facilement et les convertissent en un corps argiloïde coloré par le fer.

Au surplus, il n'est pas invraisemblable que les molécules des roches d'origine ignée prennent, à l'instant de leur solidification, un état d'équilibre instable qui se perd peu à peu pour faire place à un autre plus stable qui change la structure même des corps, puisque M. Gustave Rose a trouvé un dimorphisme dans les pyroxènes et les amphiboles, selon que l'on soumet ces substances à un refroidissement brusque ou à un refroidissement lent; et dans l'acide arsenieux vitreux récemment sublimé, qui éprouve avec le temps et peu à peu une opacité complète en perdant de sa densité et acquérant plus de solubilité dans l'eau.

D'un autre côté, ne sait-on pas que les pyrites cristallisent sous deux formes, l'une cubique, l'autre prismatique. La forme prismatique ne serait-elle pas une forme instable, attendu qu'elle est sujette à l'efflorescence, tandis que la première serait la forme stable, puisqu'elle résiste mieux à la décomposition? En Auvergne, on a rencontré des masses d'arragonite qui se désagré-

gent spontanément sans décomposition ultérieure. Le grenat et l'idocrase, dont la composition chimique est la même, cristallisent sous deux formes différentes. Le grenat paraît être la forme instable, puisqu'il se décompose dans quelques localités; l'idocrase, au contraire, n'éprouvant jamais de décomposition, est la forme stable.

La désagrégation une fois effectuée, le fer s'oxide graduellement en passant à l'état de protoxide incolore, d'oxide vert intermédiaire et de peroxide hydraté.

Nous rappellerons, à ce sujet, les observations déjà rapportées (1036), savoir, que lorsque l'attraction moléculaire est détruite, il y a déjà commencement de décomposition. Ainsi, en admettant la désagrégation, supposition très-admissible, les particules des corps recouvrent momentanément leurs facultés électriques propres, qui les rendent plus aptes à réagir sur les substances tenues en dissolution dans l'eau qui les mouille.

Ne perdons jamais de vue que lorsque les états électriques des particules des corps changent, ces particules se trouvent dans l'état le plus favorable pour réagir sur les corps environnants, attendu qu'il se forme une infinité de petits couples voltaïques, qui produisent des décompositions électro-chimiques.

1227. Nous ferons remarquer, d'un autre côté, que l'on a observé depuis longtemps que lorsque le petunzé commence à s'altérer, sa surface prend une teinte légèrement rosée et acquiert en même temps une faible saveur saline qui ne se manifeste plus quand l'altération est plus avancée. Mais comment l'alcali est-il mis en liberté? Il faut nécessairement qu'un acide plus puissant que la silice le déplace de sa combinaison avec cette terre. L'acide carbonique se présente naturellement à l'esprit pour opérer cette réaction, attendu qu'il existe dans l'atmosphère et dans l'eau, et qu'il est absorbé et condensé facilement par elle et les corps poreux, ce qui lui permet d'agir avec plus d'efficacité encore. Or, puisque le petunzé perd un silicate de potasse, il faut que la silice soit mise en liberté à un état gélatineux qui lui

permet de se dissoudre en certaine quantité dans les eaux et dans les carbonates alcalins. Cette silice, entraînée par ces dissolutions, donne naissance à des cristaux de quartz hyalin, à des fiorites, des agates, des opales, des concrétions de calcédoine, à des silicates de nouvelle formation, tels que des mésotypes, des chabasies.

1228. Voici plusieurs exemples qui prouvent que l'acide carbonique, en dissolution dans les eaux, est capable d'exercer des réactions énergiques dont on ne se fait pas toujours une idée nette, quand on ne s'occupe pas des actions lentes:

Dans la vallée de Châtel-Guyon, en Auvergne, les nombreuses sources d'eaux minérales, chargées de gaz acide carbonique, qui s'échappent de toutes les fissures du granite, exercent une action dissolvante telle qu'elles creusent cette roche et y forment de petits bassins irréguliers qu'elles remplissent de fer hydraté.

Dans un des filons de Pontgibaud, comme nous l'avons déjà vu, une explosion de poudre fit sortir un jet d'eau très-violent, chargé de gaz acide carbonique fortement condensé. L'eau, dans les premiers moments, était surchargée d'une matière argileuse blanche, tenue en suspension. Cette eau avait traversé une masse de baryte sulfatée qui était altérée sur une certaine épaisseur à un tel point que la forme cristalline de la baryte était mise à nu comme dans le moiré métallique. Ces mêmes eaux avaient attaqué aussi des fragments de stéachiste empâtés dans le feldspath. L'altération était si complète qu'il ne restait plus que les grains quartzeux et les lamelles talqueuses.

Les eaux vitrioliques, en agissant sur le feldspath et autres roches ignées, peuvent aussi donner naissance à des hydro-silicates d'alumine.

1229. Enfin, pour mettre dans tout son jour l'influence que peuvent exercer des eaux chargées d'acide carbonique sur les silicates, de manière à amener leur décomposition, nous rappellerons l'expérience déjà citée (1168) qui nous paraît assez décisive. Si l'on met dans une éprouvette du silicate de cuivre nouvellement préparé,

qu'on verse dessus de l'eau distillée, et qu'on plonge dedans une lame de zinc décapée, la lame de zinc, dans toute sa longueur, se recouvre d'une couche de couleur bleu foncé sur laquelle se déposent çà et là des petits grains cristallins brillants, puis un peu de silice gélatineuse. La substance bleu foncé est un mélange de cuivre carbonaté bleu, de deutoxide de cuivre anhydre, et d'une très-petite quantité de cuivre métallique.

Le grains cristallins ne sont autres que du carbonate de zinc.

Ces effets sont dus à la présence du gaz acide carbonique de l'air qui est dissous dans l'eau, lequel dissout le silicate de cuivre, puisque la réaction s'effectue dans toute la longueur de la lame de zinc.

Nous croyons que, dans ce cas, l'acide carbonique déplace la silice. Dans la nature, il n'existe pas, à la vérité, de zinc métallique, mais rien ne s'oppose à ce qu'une substance organique, comme on en trouve presque toujours dans les eaux minérales, ne remplace avantageusement le zinc dans les réactions que nous venons de faire connaître. Il est probable que d'autres silicates jouissent de propriétés analogues. Ainsi la théorie que nous venons de présenter de la décomposition des granites est fondée sur des faits qui ne peuvent manquer de lui donner de la force.

§ III. *De l'altération des laves, et des produits qui s'y forment.*

1230. Après avoir parlé de la décomposition des granites, nous devons dire quelque chose de la décomposition des roches volcaniques anciennes et modernes qui sont à base de feldspath.

On a observé, à la Chaussée-des-Géants, que le calcaire qui est en contact avec le basalte a une cassure brillante, une dureté plus grande et une pesanteur spécifique qui a sensiblement augmenté; du reste, aucun changement dans la composition.

Il s'ensuit que le basalte, lors de sa formation, quand il était à l'état liquide et possédant alors une température très-élevée, a modifié le mode d'agrégation du calcaire sans changer ses parties constituantes et même sans lui enlever son eau. C'est un effet de ce genre que Hall a obtenu en soumettant dans l'eau un morceau de craie à une température élevée sous une forte pression. La craie s'est changée en chaux carbonatée à grains cristallins.

1231. Le granite qui se trouve dans le voisinage des filons de basalte a éprouvé aussi une décomposition, comme on en a des exemples dans les îles d'Écosse et aux environs de Clermont.

Les schistes argileux qui sont en contact avec le basalte ont été changés en schiste siliceux : les substances métalliques ont été sublimées, l'argile fondue, etc.

Les laves ne se décomposent pas toutes sous l'influence des agents atmosphériques; celles des volcans éteints restent la plupart intactes, leurs surfaces sont telles qu'elles étaient lors de l'irruption : nous en avons la preuve dans la plupart des laves de l'Auvergne et du Vivarais. Il n'en est pas de même des laves du Vésuve, qui se décomposent assez rapidement et dont les parties constituantes sont rendues à la végétation. Cette différence dans les effets produits provient de causes qui ne sont pas encore toutes connues. Nous savons seulement que la nature des laves exerce à la vérité une influence sur le phénomène, puisqu'en Auvergne les laves à base de pyroxène se décomposent plus vite que les laves labradoriques.

1232. La wake, qui provient d'un sédiment boueux, nous intéresse, parce qu'elle renferme ordinairement des veines ou parties cristallines de calcaire, des cristaux appartenant à la famille des zéolithes, et en outre des minéraux engagés, qui ont été formés avant sa production. Cette roche se trouve encore dans d'autres localités, où elle forme des filons qui renferment diverses substances métalliques.

En examinant la manière d'être des cristaux qui se trouvent au milieu des roches basaltiques et autres analogues, qui sont souvent homogènes et très-denses, on est porté à croire qu'ils se sont formés après la consolidation de la masse et un refroidissement suffisant, puisque la plupart d'entre eux sont altérés par une chaleur incandescente et renferment de l'eau de cristallisation, qui peut être enlevée par une température peu élevée. Il est probable que ces produits ont été formés par une des causes précédemment indiquées.

CHAPITRE III.

DES RÉACTIONS CHIMIQUES OBSERVÉES DANS LES FILONS.

§ Ier. *Aperçu général des altérations.*

1233. QUICONQUE a visité des galeries de mines et a étudié la constitution des filons, ne peut s'empêcher de reconnaître qu'en général les parties les plus rapprochées de la surface du sol sont dans un état de décomposition que l'on ne retrouve pas dans les parties inférieures. De même les portions qui sont en contact avec une roche perméable à l'eau, qui peut les mettre en communication avec les agents atmosphériques, éprouvent des changements semblables. On observe des effets de ce genre dans beaucoup de roches. Il n'est donc pas permis de douter que les agents atmosphériques n'exercent une grande influence sur les décompositions chimiques qui ont lieu dans l'intérieur de la terre, indépendamment de l'action des forces électriques dont il sera question plus loin. Les exemples suivants sont assez saillants pour prouver l'exactitude de ce que nous venons d'avancer.

1234. En général, dans les filons de galène, les carbonates, ainsi que les oxides, les hydrates et les composés salins, occupent les parties du filon les plus voisines des agents atmosphériques, ou celles qui sont en rapport avec des substances argileuses ou roches fendillées qui laissent facilement passer les eaux. Ainsi, il n'est pas permis de douter que le sulfure n'ait été oxidé par l'influence prolongée des eaux pluviales. On peut se rendre compte de

cet effet en exposant à l'air une masse bocardée de galène, comme l'a observé M. Fournet; on ne tarde pas à sentir une odeur de gaz sulfureux, qui est surtout très-marquée lorsque, après une pluie, le soleil y projette ses rayons. Pendant ce grillage naturel le plomb s'oxide, ainsi que le soufre; il se forme, d'une part, du carbonate et, de l'autre, du sulfate en quantités assez grandes pour produire des pertes notables au bout d'un certain temps. Dans la terre, des effets semblables s'effectuent, et comme l'action est très-lente, on obtient des cristaux de sulfo-carbonate.

La formation du plomb noir provient d'une cause semblable à celle que nous venons de signaler.

Suivant M. Fournet, qui a donné la théorie de la formation de ce composé, on doit admettre qu'une partie de la galène n'a pas été complétement attaquée, puisque l'on peut séparer par les acides faibles les lamelles brillantes des cristaux déjà cariés. D'un autre côté, comme il y a peu de galènes qui ne soient argentifères, on est porté à admettre que ce dernier métal, qui est très-peu oxidable, a dû résister aux actions atmosphériques et doit se trouver disséminé, ou à l'état métallique ou de sulfure, dans le carbonate de nouvelle formation qui prend alors une couleur noire. Ce qui tend à confirmer cette manière de voir, c'est que le carbonate blanc est rarement argentifère, tandis que le carbonate noir l'est toujours.

La décomposition graduelle du fer spathique dans son gisement est due également aux influences atmosphériques. A Vizille, département de l'Isère, où il existe de grands amas de cette substance, on a établi des galeries, les unes au-dessus des autres, et l'on a reconnu alors que la décomposition est d'autant plus grande que le minerai est plus rapproché du sol, c'est-à-dire qu'il éprouve davantage l'action de l'air, de l'eau et des agents atmosphériques. Les mineurs ont reconnu en outre qu'à une certaine profondeur dans la terre, le minerai n'est pas altéré. Cette marche graduelle de son altération est surtout remarquable à la mine du Vent, qui est

exploitée presque à fleur de terre. La partie supérieure est devenue tout à fait terreuse, et ne paraît renfermer que de l'hydroxide de fer. Dans le Dauphiné, particulièrement à Allevard, on voit apparaître quelquefois au-dessus des terrains qui renferment du fer spathique des flammes qui portent le nom d'essorements. Ce phénomène a été observé par un si grand nombre de personnes, que nous croyons devoir en faire mention ici, en le décrivant tel qu'on nous l'a rapporté, sans en garantir autrement l'authenticité : la hauteur de ces flammes est quelquefois considérable; là où elles se montrent, on aperçoit des fissures, et si le phénomène se produit dans l'hiver, la neige est fondue à l'entour. En pénétrant dans le sol, on reconnaît que le minerai est fortement altéré : aussi les habitants d'Allevard regardent-ils la présence de ces flammes comme un indice d'un gîte riche en fer spathique.

Le minerai décomposé renferme toujours des carbonates de manganèse et de magnésie en diverses proportions, quand il est intact au contact de l'air. Quand ce minerai intact est au contact de l'air, il prend assez promptement une teinte jaunâtre ou brune par l'effet d'une décomposition, et se change en un mélange de peroxide et d'hydrate de peroxide. Il paraît, comme l'a avancé le premier M. Berthier, que le fer et le manganèse, en se suroxidant et se changeant pour la plus grande partie en hydrate, abandonnent leur acide carbonique, qui se porte sur le carbonate de magnésie et le transforme en bi-carbonate soluble que les eaux entraînent facilement.

Le résultat de la décomposition du fer spathique nous annonce donc une oxidation et une formation d'hydrate, et par conséquent la présence de l'eau; dès lors ne pourrait-on pas admettre qu'une portion de cette eau a été décomposée pour oxider le fer, et que l'hydrogène est devenu libre? Mais comme ce gaz n'a pu se dégager qu'après avoir acquis une tension suffisante pour vaincre la résistance que lui présentaient les roches adjacentes, il a dû s'accumuler dans les cavités, d'où il a fait érup-

tion ensuite à l'extérieur en brisant ces roches, et à l'instant de son contact avec l'air, il aura pu s'enflammer, à la manière des météores qui voltigent quelquefois à la surface de la terre, dans certaines localités.

Les gangues ordinaires du fer spathique sont le quartz, la barite sulfatée; il est accompagné de fragments de diverses roches, de pyrites de fer et de cuivre, de galène, de cuivre gris, de fer oxidé magnétique, etc., qui éprouvent des effets plus ou moins marqués de la décomposition du fer spathique. Quelques exemples donneront une idée des réactions qui s'y opèrent. M. Chapert a trouvé dans une mine de fer spathique, abandonnée depuis longtemps, un morceau de bois recouvert de cuivre carbonaté vert soyeux, qui provenait indubitablement de la décomposition des pyrites cuivreuses. Dans la même localité, il a recueilli des cristaux d'arragonite, qui peuvent avoir été produits par le remaniement du carbonate de chaux.

Dans une des mines de fer d'Allemont, appelée la mine du Grand-Bois, et dont le minerai est complétement décomposé par suite des influences atmosphériques, on trouve plusieurs substances qui sont évidemment de nouvelle formation, entre autres du carbonate et du sulfate de plomb, qui ont dû être produits par la décomposition du sulfure; du sulfate de chaux cristallisé, du cuivre carbonaté vert soyeux, sur des morceaux de quartz, du fer hématite concretionné, recouvert de peroxide de manganèse d'un brillant argentin.

Nous allons maintenant passer en revue les principales observations que l'on a faites dans quelques filons où les phénomènes de décomposition sont bien marqués.

§ II. *Du filon d'Huelgoat.*

1235. Le filon d'Huelgoat en Bretagne peut être considéré comme classique par les personnes qui s'occupent des actions lentes; car il est impossible de trouver un plus grand nombre de formations modernes que dans cette localité, où l'eau ruisselle de toutes parts, et où l'on trouve par-

tout des traces de décomposition, même dans les roches encaissantes : c'est pour ce motif que nous commencerons par Huelgoat l'examen des formations minérales modernes.

Ce filon a pour roche encaissante des schistes à débris coquilliers, un porphyre quartzifère, un poudding ue porphyrique très-perméable à l'eau, des schistes alumineux et pyritifères, une brèche pyriteuse amphibolique et feldspathique, contenant des veines de carbonate de chaux, etc.

Voici un aperçu général de son état actuel : les matières et roches encaissantes sont d'autant plus altérées qu'elles sont plus rapprochées de la surface du sol. La partie supérieure du filon est composée de pacos, qui sont des quartz plus ou moins ferrifères, renfermant de l'argent métallique, du chlorure d'argent et des pyrites cuivreuses argentifères; la partie inférieure renferme principalement des galènes. Les pacos sont d'autant plus riches qu'ils sont plus rapprochés du plomb. On trouve, en partant de l'affleurement, absence totale de plomb, du chlorure d'argent, qui est plus abondant, à mesure qu'on descend; l'argent métallique se montre en plus grande quantité dans la partie inférieure. La nature des pacos varie avec celle de la roche encaissante.

En général, dans la partie qui correspond au système porphyrique, on trouve dans le filon, avec les quartz carriés, des argiles, des cuprosilicates; c'est précisément dans cette partie qu'abondent les chlorures d'argent. On y trouve aussi des concrétions d'hydrate de fer compacte, très-argentifères, renfermant quelquefois 40 pour cent d'argent.

Quant à la partie correspondante au système schisteux, on y rencontre fréquemment des pyrites, surtout celles qui sont en pâte et qui ne renferment pas ordinairement d'argent. On y trouve aussi des pacos stalactiformes de toute espèce, lesquels sont très-chargés de fer. Les pyrites argentifères sont peu abondantes, on en trouve dans tout le filon.

Les pacos renferment aussi du plomb phosphaté prismatique, entre la formation porphyrique et la formation schisteuse, mais jamais dans la partie supérieure : par conséquent ils ont été formés dans la partie inférieure à la limite de la formation des pacos. Les plombs phosphatés qu'on rencontre dans cette région sont toujours à l'état de concrétion ou de houppes soyeuses : c'est là aussi où se trouvent les plombs carbonatés et une substance gélatineuse qui remplit les géodes dans lesquelles les phosphates et les carbonates se sont déposés. Il y a très-peu de carbonate de plomb dans l'affleurement du filon; on y trouve seulement du plomb sulfaté et du sulfo-carbonate, ainsi que du plomb noir.

Au milieu des pacos, non loin des sulfo-carbonates, se montre le fer résinite dont la formation est bien réellement moderne.

Nous avons observé une substance organique résiniforme sur les parois du mur, qui semble découler d'une exploitation supérieure: tout porte à croire qu'elle provient de la décomposition des boisages.

L'alun de plume abonde au toit du filon; il provient de la décomposition d'une roche alumineuse et pyritifère, appelée roche verte, qui semble faire partie du filon; elle est constamment en décomposition partout où on la rencontre.

Les schistes pyriteux, dans les mêmes parages, donnent naissance à des sulfates de fer qui cristallisent là où il y a peu d'eau. La température, dans cette localité, est de 26 degrés centigrades, ce qui annonce de nombreuses réactions chimiques. Les eaux pénètrent rapidement au fond des travaux, en raison de la nature fendillée du filon; dans les parties supérieures, il y a peu d'infiltration, seulement la région des pacos qui correspond au système porphyrique en présente quelques-unes.

Les eaux, quand elles sortent de la roche encaissante, sont peu vitrioliques; mais elles le deviennent successivement. Elles renferment aussi beaucoup de chlorure de sodium.

On trouve du plomb gomme à la rencontre des massifs de galène et de pacos. Enfin les porphyres, dans le voisinage du filon et du jour, sont décomposés et amenés à l'état d'argile.

M. Paillette, qui a fait un séjour de plusieurs années à Huelgoat, a donné quelques vues théoriques sur les formations modernes qu'il a observées dans le principal filon de cette contrée; nous y aurons égard dans l'exposé que nous allons présenter des changements qui ont amené leur production.

On est porté à croire que dans une région qui ne dépasse pas le niveau des vallées d'érosion, le filon renfermait d'abord des pyrites de fer argentifère, du zinc sulfuré, quelques pyrites cuivreuses, une petite quantité de cuivre gris, du sulfure d'antimoine et de la galène argentifère. Au-dessous il existait comme aujourd'hui un dépôt beaucoup plus étendu de galène argentifère, de blende et de quelques pyrites ferrifères et cuivreuses.

Les eaux qui ont produit les vallées d'érosion étaient probablement plus chargées de sel marin qu'elles ne le sont maintenant, quoiqu'elles en renferment encore une quantité assez notable; elles ont pénétré dans l'intérieur du filon, en raison de la nature perméable de la roche encaissante. Ces eaux qui entraînent avec elles de l'air atmosphérique, en réagissant sur les parties constituantes du filon, ont dû produire des sulfates de fer, de cuivre, de zinc et même de plomb; de l'argent métallique a été abandonné par les pyrites et la galène. Les sulfates des métaux les plus oxidables, une fois formés, auront réagi énergiquement sur les substances environnantes, ainsi que sur les parois du filon. Or, ces parois, là où il existe le plus de pyrites, étant formées de porphyre très-feldspathique et de schiste, il en sera résulté les réactions suivantes : le feldspath perdant son silicate de potasse, une partie de l'acide sulfurique des sulfates se sera combinée avec la potasse; les eaux auront enlevé le sulfate alcalin, la silice se sera déposée en gelée sur des morceaux de

roches encaissantes, tombées dans le filon, ou en se durcissant aura formé des concrétions mamelonnées ou autres qu'on y retrouve.

Les sulfates des métaux oxidables, en réagissant sur sur les phosphates et carbonates calcaires des corps organisés et des coquilles, auront donné naissance à du sulfate de chaux et à des phosphates, ainsi qu'à des carbonates de plomb, de cuivre et de zinc, qui auront été décomposés par de nouvelles réactions; il se sera déposé alors des hydrates de fer argentifère. D'un autre côté, les eaux en traversant les roches dissolvaient du sel marin et devaient comme elles le peuvent encore réagir sur plusieurs des parties constituantes du filon; car l'eau salée jouit d'une faculté dissolvante, dont on ne connaît pas encore toute l'étendue. Si cette solution est saturée, elle dissout le sulfate, le phosphate et même le sulfure de plomb qu'elle transforme en sulfate; le sulfate de plomb surtout s'y dissout en quantité assez notable. Lorsque la solution est très-étendue, la faculté dissolvante est très-faible; mais il n'en faut pas davantage pour que de semblables dissolutions, au bout d'un grand nombre de siècles, forment des dépôts de phosphate, de sulfate, de chloro-phosphate et de chloro-sulfate de plomb.

Nous ferons observer encore que, si des dissolutions de sulfate et de phosphate de plomb dans le sel marin sont mises en contact avec un métal oxidable, ou un oxide qui peut passer à un état supérieur, il en résulte des sous-sulfates, des sous-phosphates de plomb qui cristallisent. En général, les dissolutions excessivement étendues de sel marin renfermant des sels de plomb, en réagissant sur des substances oxidables et sur des substances organiques, ont pu donner naissance à des composés semblables à ceux que l'on trouve dans le filon d'Huelgoat. La solution de sel marin, en réagissant par exemple sur l'argent, a donné naissance à des doubles chlorures de sodium et d'argent qu'on retrouve aujourd'hui dans les pacos, ainsi qu'à du chlorure d'argent, puisque des pièces d'argent qui restent longtemps en

contact avec l'eau de mer se changent entièrement en chlorure et en sous-chlorure.

Si on examine des échantillons de pacos qui renferment de l'argent métallique, on voit que ce métal est tantôt sous forme de dendrites, tantôt formant des dépôts très-minces semblant indiquer une réduction du chlorure qui aura pu s'effectuer quand ce composé aura été en contact avec des corps hydrogénés, comme il s'en trouve dans cette localité.

1236. Dès l'instant que les vallées d'érosion furent devenues plus profondes, les eaux n'arrivèrent plus dans le filon qu'en moindre quantité, tandis que l'air y entrait par toutes les issues que les eaux y avaïent formées : c'est probablement à cette époque qu'eut lieu la production du carbonate de plomb noir.

Les sulfates de zinc et de fer qui ne cessaient pas de se former, continuaient à réagir sur le feldspath de la roche porphyrique encaissante en enlevant le silicate de potasse. Il résultait évidemment de cette réaction, outre de la silice gélatineuse, des sulfates d'alumine et de potasse. Quand le sulfate d'alumine rencontrait du carbonate de chaux, il y avait décomposition et dépôt d'alumine hydratée.

Une autre portion de la silice gélatineuse, en se combinant dans les anfractuosités du filon avec l'alumine hydratée, formait ces masses assez considérables d'hydro-silicate d'alumine, dont les éléments ne sont pas en proportions définies. Une autre portion de l'alumine, en se combinant avec le plomb, aura produit le plomb gomme.

On ne doit pas être étonné de l'action puissante qu'a dû exercer le sulfate de fer sur la plupart des minéraux préexistants, lorsqu'on connaît la puissance dissolvante de ce sel, quand le fer est au maximum d'oxidation. Dès lors on conçoit comment ces minéraux auront été détruits pour donner naissance à d'autres composés.

Les sels ferreux, en réagissant sur le phosphate de plomb, auront donné naissance à des tubes prismatiques

de sous-phosphate de fer et à ces encroûtements de même composition qui recouvrent les cristaux de chloro-phosphate de plomb.

Le chloro-phosphate de plomb ne se sera déposé que lorsque le proto-sulfate de fer, son dissolvant, aura été saturé, c'est-à-dire, aussitôt qu'il aura rencontré des cristaux de carbonate de chaux. On aura eu alors ces chloro-phosphates de plomb mamelonnés aciculaires de diverses couleurs, tantôt purs, tantôt calcarifères, tantôt empâtant des débris de quartz.

Si, par hasard, dans la décomposition des persulfures il s'est déposé du soufre, comme cela arrive quelquefois, ce soufre se sera combiné avec une portion de l'alcali de la roche porphyrique, d'où il sera résulté des hyposulfites alcalins, puis des doubles hyposulfites alcalins et métalliques, puis par des effets électro-chimiques des sulfures métalliques qui auront produit, suivant les circonstances, des prismes de sulfure de plomb, quand la galène se sera moulée dans les vides laissés par le chloro-phosphate de plomb dissous; des petits cristaux de galène antimoniale reposant sur des galènes massives ne renfermant pas d'antimoine, des pyrites qui ont pris la place de phosphate de plomb, ou qui ont cristallisé dans des moules anciens de pyrite et de chaux carbonatée, et de la blende placée dans les mêmes circonstances que la pyrite.

Il est probable qu'à l'époque actuelle, les élaborations dont nous venons de parler continuent toujours.

Les schistes pyriteux et la brèche pyriteuse fournissent abondamment des aluns de plume et du sulfate de fer; la blende et les pyrites du filon, les sulfates de zinc et de fer. La réaction de ces sels sur la chaux carbonatée donne naissance à des cristaux de gypse, d'où résultent de l'hydrate d'alumine siliceux et du plomb carbonaté en houppes ou cristaux qui se trouvent en suspension dans les hydrates. Il se produit en même temps du phosphate de fer résinite, mélangé d'hydrate qui se dépose journellement, ainsi que des petites masses molles de phosphate de plomb.

§ III. *Des amas de minerais de cuivre de Chessy.*

1237. Les minerais de cuivre de Chessy se composent de cuivre pyriteux, de cuivre noir, de cuivre carbonaté bleu et vert, et de protoxide de cuivre.

Le cuivre pyriteux se trouve dans le terrain primitif, qui est une diabase (amphibole et feldspath); le cuivre noir, dans le terrain de transition, qui est un mélange de schiste feldspathique et de diabase; le cuivre oxidulé entre le cuivre noir et le cuivre carbonaté, dans une couche d'argile rougeâtre qui sépare le terrain de transition du grès bigarré; le cuivre carbonaté, dans le grès bigarré. On voit donc que le cuivre carbonaté se montre dans les parties les plus rapprochées du sol, là où les influences atmosphériques peuvent exercer plus facilement leur influence.

Dans le grès bigarré, on a rencontré un grand nombre de boules plus ou moins sphériques, d'une grande dureté, présentant à leur centre des vides tapissés de cristaux de carbonate bleu de cuivre et renfermant de l'eau; ce qui fait présumer que ces cristaux ont eu une origine aqueuse.

1238. Nous allons passer en revue quelques-unes des décompositions et des formations modernes que l'on a observées dans les mines de cuivre de Chessy près de Lyon.

Lorsque la pyrite cuivreuse commence à se décomposer, elle donne naissance à la mine noire, qui est un mélange de sulfure et d'oxide, et l'on obtient du sulfate de cuivre et de fer qui est entraîné par les eaux. On trouve quelquefois de ce double sulfate cristallisé. Ces sulfates, en réagissant sur les roches environnantes, donnent naissance à divers produits que nous allons faire connaître :

1° De l'hydrate de peroxide de fer, provenant de la suroxidation des sulfates ferrugineux avec des petits cristaux de sulfate de chaux.

2° De l'oxide de fer imprégnant le grès métallifère.

3° Le cuivre oxidulé, qui peut être formé soit par la décomposition du sulfate de fer dans son contact avec les roches contenant du protoxide de fer : dans ce cas, le fer se peroxide et le cuivre passe à l'état de protoxide ou se réduit entièrement; soit quand une dissolution de sulfate de fer est en contact avec une matière organique, comme dans l'expérience de M. Clément; soit quand une dissolution de sulfate de cuivre est séparée d'une nappe d'eau ou d'une solution, à un moindre degré de concentration, par de l'argile renfermant du cuivre métallique. C'est précisément le cas où le protoxide se forme avec une grande facilité dans les actions électro-chimiques, comme nous l'avons prouvé.

Le cuivre natif se forme, comme il vient d'être dit, dans la décomposition du sulfate de cuivre par les roches contenant du protosilicate de fer. L'opération s'effectue dans les fissures de la roche où l'action capillaire joue un certain rôle, comme nous l'avons montré à plusieurs reprises dans le cours de cet ouvrage.

Quand les pyrites cuivreuses se décomposent complétement, il en résulte du carbonate de cuivre qui peut se former à la manière des doubles décompositions.

Le cuivre carbonaté bleu est formé par la réaction du sulfate de cuivre sur le carbonate de chaux qui cimente les grès. On trouve souvent, l'un à côté de l'autre, le cuivre carbonaté bleu et le cuivre carbonaté vert avec de l'hydrosilicate d'alumine qui imprègne ces grès.

L'hydrosilicate d'alumine provient de l'action des sulfates sur les roches siliceuses et alumineuses. La silice qui est à l'état gélatineux provient de la même réaction. M. Fournet a reconnu qu'elle se forme dans un intervalle d'une trentaine d'années. La silice endurcie est accompagnée d'hydrosilicate d'alumine.

L'hydrosilicate de cuivre est formé par la réaction du sulfate de cuivre sur les roches qu'il traverse. Enfin le carbonate de zinc cuprifère, que l'on trouve

quelquefois dans la même localité, provient de réactions dont on ne peut encore se rendre compte.

§ IV. *Des filons de Pontgibaud.*

1239. Nous allons terminer l'examen des principales décompositions qui ont lieu dans l'intérieur de la terre, par l'exposé des changements chimiques qui ont été observés par M. Fournet dans les filons de Pontgibaud.

Les roches primitives des environs de Pontgibaud renferment une multitude de fissures ou filons dont les uns servent de réceptacle aux fragments des roches voisines et aux substances métalliques et terreuses venues de l'intérieur et de l'extérieur, et dont les autres ont donné issue à des matières volcaniques ou à des cours d'eau. Ces filons renferment tous à peu près les mêmes substances, savoir : de la galène argentifère, du cuivre pyriteux, de l'antimoine sulfuré, etc.

Le terrain qui encaisse les filons varie dans sa composition; sur les plateaux, il est formé principalement de schiste micacé, tandis que dans les vallées profondes il renferme des roches magnésiennes. Tout le système en outre est traversé par des amas de granite.

Le schiste micacé et le stéachiste sont les roches métallifères par excellence. Toutes les variétés éprouvent une altération qui les fait passer à des teintes vertes ou jaunes plus ou moins prononcées. La décomposition des pyrites qu'elles renferment donne naissance à des efflorescences magnésiennes ou vitrioliques.

La protogine fournit de gros amas saillants dans les vallées, par suite de la décomposition des roches schisteuses environnantes; elle éprouve elle-même des altérations, par le passage du feldspath à l'état de kaolin.

1240. Les filons paraissent avoir été remplis de deux manières, par des fragments anguleux des roches voisines, venus de la surface du globe, et par des sources qui ont surgi de l'intérieur. Il paraît résulter évidem-

ment de l'isolement de la silice et de la non-altération par le feu des parois de ces filons, que ceux-ci ont dû être remplis par voie aqueuse.

Le remplissage provenant de l'extérieur se compose de fragments de roches anciennes qui ont éprouvé quelque altération, tels que des schistes dont le talc et le mica sont changés en une substance grise, tachante et ardoisée; des schistes talqueux dans lesquels la stéatite s'est isolée en veinules ou nodules jaunes très-onctueux, et des granites dont le feldspath est converti en kaolin.

Les granites de même formation, qui se trouvent en amas et loin par conséquent du contact d'autres corps, n'ont éprouvé aucune altération.

Le remplissage par l'intérieur paraît être dû à des sources qui ont déposé de la silice, du sulfure de fer et des pyrites arsenicales sur les fragments des roches primitives. Ces dépôts, qui ont été enveloppés ensuite par tous les autres dépôts, constituent la première époque de remplissage.

Cette époque est caractérisée par une absence presque complète de cristallisation. Il semblerait que les eaux minérales étaient tellement chargées de substances ou d'éléments propres à produire celles-ci, qu'elles ont dû se prendre en masse.

1241. M. Fournet a observé quatre autres époques de remplissage; à la seconde, les fentes primitives ont éprouvé une nouvelle dilatation, il en est résulté plusieurs branches secondaires auxquelles on donne ordinairement le nom de filon du mur ou du toit et dont les caractères sont essentiellement différents de ceux du filon primitif. Ces branches secondaires ont été remplies par des produits secondaires et tertiaires, comme les fentes précédentes, soit par des fragments anciens provenant de la surface et des débris quartzeux du filon détachés par la violence de la secousse, soit par des dépôts de quartz et de sulfure des sources venues de l'intérieur. Les quartz se distinguent des précédents par une texture éminemment esquilleuse et par une ten-

dance prononcée à la cristallisation qui a produit, vers les dernières périodes de l'époque, des pointements cristallins.

Les dépôts du sulfure ont eu lieu autour de nodules anciens et ont formé des zones alternatives de pyrites, de galène et de quartz régulier en petits cristaux.

1242. A la troisième époque, une dilatation nouvelle du filon a eu lieu; il en est résulté les mêmes accidents qu'à la deuxième, c'est-à-dire des fractures, des éboulements de roches anciennes et formation de nouveaux minéraux. Cette dilatation paraît avoir eu pour résultat de détourner les sources qui produisaient la blende et la galène, et d'introduire dans le filon des dissolutions chargées de sulfate de baryte, ou du moins de sels capables de le produire par leur réaction.

Il n'est pas rare de trouver dans le filon de Barbeco, dont le centre est un fragment de roche ancienne, enveloppé de quartz esquilleux, des sulfures de plomb et de zinc de la précédente époque. Le sulfate de baryte, dans son contact avec les roches anciennes, a pris ordinairement des teintes violacées qui se perdent peu à peu en raison de son éloignement des roches anciennes. Ce fait confirme l'observation qui est relative à la coloration du quartz esquilleux, savoir, que les eaux ont agi par voie de dissolution sur les roches préexistantes.

1243. A la quatrième époque, l'énergie incrustante des sources paraît s'être affaiblie peu à peu; aussi les formes du minerai sont-elles de plus en plus régulières. Le filon a achevé de se constituer, les salbandes se sont formées. M. Fournet divise les produits formés en deux classes, ceux provenant des sources de l'intérieur, et ceux qui sont dus à des causes extérieures. Ces derniers sont également des argiles tenaces et onctueuses, fréquemment chargées de détritus du filon lui-même.

Quelquefois les salbandes paraissent être le résultat d'une altération profonde de roches anciennes. Cet effet peut s'expliquer par le séjour prolongé des eaux dans le filon, en raison de l'analogie que l'on remarque avec l'alté-

ration identique du même rocher à la surface de la terre.

Pendant que ces altérations avaient lieu, il s'est formé des pyrites, d'autres substances et divers carbonates qui indiquent la première arrivée de l'acide carbonique.

Enfin, la cinquième époque correspond probablement à celle des grandes alluvions et des éruptions basaltiques. Les dépôts siliceux ont toujours continué à paraître et n'ont pas cessé jusqu'à nos jours; mais avec cette différence, qu'il est impossible d'expliquer comment il se fait que la silice soit constamment dans un état gélatineux qui ne lui permet plus de cristalliser. Le fer et le manganèse y sont à l'état d'hydrate; la calamine seule, en raison de ses affinités énergiques, a pu conserver l'acide carbonique qui, du reste, se dégage depuis cette époque, avec force, soit des eaux, soit des fissures multipliées produites par les commotions qui ont accompagné la série des éruptions volcaniques. Les dépôts ferrugineux et calcaires tendent constamment à obstruer les travaux du mineur, en sorte que, après l'épuisement du filon, si on laissait les galeries fermées, et que la masse acquît de la compacité par les infiltrations successives, il est probable que des exploitations nouvelles seraient ouvertes sur des dépôts de minerais de fer hydraté silicifères; c'est ainsi que l'on trouve des ocres très-compactes, cimentant des fragments de remblais, ayant une surface mamelonnée et dorée comme celle de certains minerais de fer.

1244. Les dépôts de manganèse libre sont peu abondants, ceux de silice pure sont affectés à certaines localités, et les calcaires ne diffèrent pas en général de ceux qui constituent les stalactites ou les concrétions amorphes. Ces dernières sont quelquefois cristallisées assez irrégulièrement et en pointements oblongs. Le plus fréquemment, toutes ces substances sont mélangées confusément ensemble et constituent dans les galeries ou à la surface du sol des amas d'ocre effervescent, à base de silice gélatineuse.

1245. Dans la contrée que nous décrivons, il est fa-

cile de se rendre compte des altérations journalières que les substances minérales éprouvent par l'action des agents atmosphériques. En général, ces altérations se manifestent par l'oxidation graduelle des deux éléments des sulfures; il se forme des bases et des acides qui restent libres ou s'unissent par suite du contact, ou enfin s'emparent des autres substances voisines et forment ainsi des produits variés.

Le fer hydraté compacte et terreux provient évidemment de la décomposition des pyrites, puisqu'on trouve souvent dans son centre des portions de pyrites encore brillantes.

Le fer hydraté pulvérulent provient de la décomposition du carbonate de fer; le fer arseniate vert pâle des pyrites arsenicales; le fer phosphaté en filaments très-ténus est aussi une formation moderne.

Le fer sulfaté fibreux se forme journellement sur les bords des mines.

La galène se décompose également comme le sulfate de fer et se convertit en une substance pulvérulente noire et tachante; elle donne quelquefois naissance à du plomb carbonaté noir ou blanc vitreux ou terreux, qui reste mélangé avec la galène. On trouve fréquemment de ces formations dans les galeries de mine.

Quelquefois l'acide sulfurique reste combiné avec l'oxide de plomb et donne naissance à du sulfate en petits octaèdres.

La blende est également soumise à des altérations particulières; il se forme des sulfates et de l'oxide sulfure de zinc.

Le cuivre pyriteux, en se décomposant, donne naissance à du sulfate et à du carbonate de cuivre vert pulvérulent ou cristallisé, ou bien à du protoxide de cuivre en petites houppes soyeuses.

§ V. *De l'influence des forces électriques terrestres sur les phénomènes de décomposition et de recomposition des roches.*

1246. Maintenant que nous possédons une foule de preuves incontestables de la formation moderne d'un certain nombre de substances minérales, dans les roches et les filons, par suite de la décomposition de leurs parties constituantes, récapitulons les causes électro-chimiques qui ont pu exercer une influence déterminante sur cette formation.

Nous avons déjà indiqué les faits qui tendent à prouver qu'il existe des courants électriques dans diverses parties de l'écorce de notre globe; ces courants parcourent les veinules métalliques, conductrices de l'électricité, qui établissent la communication entre la partie non-oxidée du globe et les liquides venus de la surface par des interstices, lesquels réagissent énergiquement sur elle, comme les déjections volcaniques en sont une preuve évidente. Or ces veinules métalliques sont interrompues en mille endroits par des roches ou gangues de nature diverse, non conductrices de l'électricité, formant autant de solutions de continuité nécessaires pour que les courants réagissent chimiquement sur les parties constituantes des liquides ou des dissolutions qui mouillent et les veinules et les gangues. Il doit résulter de là une foule de décompositions et de combinaisons nouvelles, dont la nature dépend de celle des principes qui sont en présence et sur la production desquelles nous nous sommes suffisamment étendu dans le cours de notre ouvrage pour ne plus y revenir. Le lecteur ne doit pas perdre de vue que nous raisonnons toujours dans l'hypothèse où l'écorce de notre globe serait sillonnée dans tous les sens par des courants électro-chimiques dont l'existence, quoique non encore reconnue d'une manière incontestable par l'expérience, est néanmoins admise par la théorie.

Ces courants ne sont pas les seuls qui puissent exercer

une influence sur les réactions chimiques terrestres; il en est d'autres qui sont produits dans les actions chimiques partielles qui ont lieu dans une foule de localités, où l'eau aérée pénètre ainsi que des eaux minérales, et dont la participation donne une énergie nouvelle à ces mêmes actions, comme nous avons eu souvent l'occasion de le démontrer. Étudier, analyser cette participation est le but constant de nos travaux, parce que nous sommes convaincu qu'il doit résulter de ce travail des documents utiles pour l'histoire de la terre et la philosophie naturelle.

Il existe encore très-probablement une autre participation des forces électriques qui doit exercer aussi une influence sur les réactions chimiques produites à la surface de la terre : on sait, à n'en plus douter, que l'atmosphère et la terre se trouvent ordinairement dans deux états électriques différents, et que la neutralisation des deux électricités, qui s'effectue par l'intermédiaire de tous les corps qui sont à la surface de la terre, doit concourir aux actions spontanées qui ont lieu dans la plupart de ces corps, soit qu'ils appartiennent à des êtres organisés, soit qu'ils appartiennent à des corps inorganiques.

Jusqu'ici on a négligé cette influence de l'électricité qui assimile jusqu'à un certain point la terre et l'atmosphère aux deux conducteurs d'une machine électrique, chargés d'électricité contraire et à l'aide desquels on produit des décompositions; et cependant, dans l'état actuel de la science, il n'est pas permis de négliger l'action électro-chimique qui en résulte dans les recherches relatives à l'influence des agents atmosphériques sur les corps qui se trouvent à la surface de la terre, puisqu'il est parfaitement démontré que l'électricité libre, qui est transmise dans des solutions salines, opère leur décomposition.

Nous cherchons, comme on voit, tous les moyens possibles de déterminer la part que prennent les forces électriques dans tous les phénomènes de décomposition et de recomposition qui se passent journellement sous nos

yeux. Néanmoins nous ne cherchons pas à donner à ces forces plus d'importance qu'elles n'en ont réellement. Bien des personnes sont disposées à attribuer tous ces phénomènes à l'électricité, mais sans appuyer leurs assertions sur des preuves suffisantes; ce qui est une faute capitale. Certes, le principe électrique joue un grand rôle dans la nature; mais si l'on veut apprécier son importance, il faut commencer par étudier tous les phénomènes de manière à pouvoir constater les effets électriques qui se manifestent dans les diverses phases de leur production, et partir de là pour rechercher comment ces mêmes effets, mis à profit, peuvent les modifier, les annuler ou leur donner une nouvelle énergie. C'est l'ensemble de toutes ces expériences qui nous indique jusqu'à quel point on peut reconnaître une origine électrique à ces phénomènes.

L'exemple suivant indique comment il faut opérer : certaines roches, en raison des influences atmosphériques, éprouvent des changements qui amènent leur décomposition ; au premier abord, on ne voit que l'eau, l'air et les variations de température qui jouent là un certain rôle ; mais si l'on tient compte des effets électriques produits dans ces diverses réactions, c'est- à-dire de la recomposition des électricités dégagées par l'intermédiaire des surfaces et de l'eau, laquelle produit une foule de courants partiels, on conçoit alors que ces courants agissant comme force chimique, joignent leur action à celle des agents atmosphériques.

CHAPITRE IV.

INDICATION D'UN PROCÉDÉ POUR ÉVALUER PAR APPROXIMATION L'ÉPOQUE D'UN DES GRANDS CATACLYSMES DU GLOBE.

1247. En entrant dans le Limousin, on est frappé de l'état de décomposition où se trouvent les granites et les gneiss jusqu'à une certaine profondeur. Toutes ces roches, retirées intactes des carrières, se décomposent avec le temps, comme on en a journellement la preuve en examinant les morceaux concassés que l'on jette sur les routes; le fer du mica passe peu à peu au maximum d'oxidation, le feldspath perd à sa surface son kaolin; il en résulte une désagrégation des parties et par suite la décomposition du granite et du gneiss. Quand les débris de ces roches sont placés sur les routes, ils sont exposés alors au broiement continuel des voitures, des pieds des hommes et des chevaux, qui les transforme promptement en une poussière très-fine qui, par la pluie, devient grasse et onctueuse comme le kaolin. Or, en broyant en parties très-fines ces roches, de manière à en former une pâte avec l'eau, jamais on ne parvient à les transformer en une pâte semblable à celle que l'on trouve sur les routes du Limousin, dans les temps de pluie. Il faut donc admettre que les influences atmosphériques et la réaction des matières organiques qui se trouvent en abondance sur les grandes communications, ont opéré en peu de temps des changements dans les parties constituantes des ro-

ches qui ont de l'analogie avec ceux qui ont transformé le feldspath en kaolin.

La décomposition de ces granites a attiré surtout notre attention, non pas sous le rapport des changements qui se sont opérés dans quelques-unes de leurs parties constituantes, mais bien sous celui de l'étendue de la partie altérée. Dans diverses localités, et particulièrement sur la route de Toulouse, en sortant de Limoges, on trouve plusieurs carrières d'où l'on tire du granite pour divers usages. La partie que l'on exploite est intacte, mais celle qui est la plus rapprochée du sol est dans un état complet de décomposition. Il n'est pas permis de douter que les causes qui ont produit cette décomposition n'aient agi par en haut. Il y a même quelque probabilité à supposer qu'elles ont dû commencer à agir immédiatement après la dernière catastrophe du globe, qui a rejeté les mers dans les bassins qu'elles occupent maintenant; car les eaux auront dû enlever toutes les roches désagrégées, toutes les parties enfin qui n'auront pu résister à leur impulsion. Ces principes posés, ne pourrait-on pas remonter à l'époque de cette dernière catastrophe, en comparant les altérations qui ont eu lieu depuis quelques siècles à celles qui se sont opérées dans les masses actuellement en place? A la vérité, il faut supposer que les causes qui existaient alors sont encore les mêmes; mais cette supposition est assez admissible depuis que l'on sait, par un grand nombre de faits, que l'état de l'atmosphère n'a pas changé sensiblement depuis cette époque.

La méthode que nous proposons, quoique inexacte à certains égards, a des avantages marqués sur les autres méthodes employées, ne fût-ce que de donner une limite, comme nous allons le voir. Voici les moyens que l'on a proposés pour arriver à la détermination de l'époque de la dernière révolution du globe :

1° Les données historiques et surtout les données religieuses; nous devons les respecter, et par conséquent ne pas en parler. 2° L'accroissement des atterrissements le

long des fleuves ou sur les côtes de la mer. Mais la nature a-t-elle toujours agi d'une manière uniforme pour produire ces atterrissements? Dans les premiers temps, lorsque la terre était jonchée de débris de toute nature qui ont été charriés par les eaux, les atterrissements ont dû s'accroître plus rapidement que maintenant. Au surplus, nous ne connaissons aucun calcul bien positif qui nous donne la marche graduelle de ces dépôts, depuis le dernier cataclysme du globe jusqu'à nos jours.

Le procédé que nous proposons repose sur des faits dont tout le monde peut vérifier l'exactitude; il importe donc de le faire connaître, parce que les géologues pourront en faire l'application dans un grand nombre de localités. Dans une question de cette nature, il ne faut pas s'appuyer sur des monuments périssables que les générations futures ne peuvent consulter, mais bien sur des témoins irréfragables, qui restent debout pour éclairer continuellement la science. Voici comment nous avons procédé :

Nous nous sommes demandé si l'on ne pourrait pas comparer les altérations qui ont eu lieu depuis quelques siècles dans des blocs de granite avec celles qui ont eu lieu dans la même roche actuellement en place. Or, la cathédrale de Limoges, qui a été construite il y a environ quatre siècles, permet d'établir une comparaison à cet égard. Cet édifice est construit en granite qui a dû être extrait des carrières les plus rapprochées de la ville, et qui, sous ce rapport, a une grande analogie avec celui de la carrière qui se trouve sur la route de Toulouse. Dans l'intérieur de la cathédrale, l'altération du granite est peu ou point sensible, surtout dans les parties qui n'ont pas été exposées à l'humidité; mais il n'en est pas de même au dehors, principalement sur les faces qui sont exposées au vent de pluie. La désagrégation, dans quelques parties, est assez profonde, dans d'autres elle l'est moins; la première conséquence que l'on tire de ces observations, que nous avons eu également l'occasion de faire dans plusieurs églises du Limousin, ainsi que sur les routes qui le traver-

sent dans tous les sens, c'est que les altérations sont dues aux influences atmosphériques. D'après cela et en raison des motifs que nous avons donnés plus haut, il faut donc attribuer à une cause semblable la décomposition des parties supérieures du granite en place. Nous avons fait un grand nombre d'observations sur la profondeur de l'altération des granites de la cathédrale : le terme moyen est de 8 millimètres. Or, la portion décomposée de la masse de granite que j'ai observée est de 1 mètre 60 centimètres environ; en supposant que la marche des altérations ait eu lieu dans la masse de granite proportionnellement au temps, on trouve que l'altération a dû commencer il y a environ 82,000 ans. On ignore, à la vérité, la marche de la décomposition du granite en masse, qui a dû être plus rapide dans les premiers temps qu'après, puisque les parties supérieures auront préservé celles qui étaient au-dessous. Dans ce cas, la loi serait une progression décroissante et donnerait encore un nombre plus grand que celui que nous avons trouvé. Au surplus, la manière dont le granite se décompose n'a pas dû rendre aussi difficile qu'on pourrait le croire la décomposition des parties inférieures, puisqu'un des premiers effets de la décomposition étant de produire la désagrégation de ses parties constituantes, l'eau et l'air qu'elle transporte auront pénétré avec plus de facilité dans les parties inférieures que si la décomposition se fût opérée comme dans certaines roches, par une simple cémentation. Nous ne prétendons nullement donner comme définitif le nombre 82,000, attendu que la méthode employée repose sur des données qui ont encore besoin d'être examinées; mais nous pensons que c'est une de celles qui peuvent nous conduire le plus directement à la solution d'une question qui intéresse au plus haut degré la géologie.

Nous croyons avoir atteint le but que nous nous sommes proposé, en faisant connaître au lecteur toutes les données dont la science peut disposer pour expliquer

les actions lentes en général, dans l'intérieur ou à la surface de la terre. Toutes les forces de la nature concourent à la production de ces actions; la chaleur, la lumière, l'électricité, les affinités, la capillarité, et même les forces organiques. Jadis on s'en occupait peu, parce qu'on n'avait pas cherché à analyser la part que chacune d'elles prend à l'effet général. Nous sommes bien éloigné de croire que nous ayons fait connaître toutes les causes qui interviennent; mais nous avons indiqué du moins les moyens d'investigation à l'aide desquels on peut arriver à leur détermination. Notre ouvrage n'est donc pas à beaucoup près complet: aussi doit-on le considérer comme un cadre dans lequel viendront se placer les découvertes qui enrichiront successivement cette partie de la science. Un jour à venir, l'ensemble de toutes ces connaissances formera un corps de doctrine dont les sciences physiques, chimiques et physiologiques, tireront un grand parti pour leur perfectionnement réciproque.

Nous prions de nouveau le lecteur de ne pas attacher plus d'importance que nous ne l'avons fait aux théories que nous avons données pour lier ensemble toutes les observations. Nous avons voulu seulement rendre leur étude facile, et les accompagner d'aperçus philosophiques propres à engager les jeunes physiciens à cultiver une branche de nos connaissances scientifiques qui offre une source inépuisable de découvertes importantes. Nous espérons que les observations qu'ils voudront bien nous communiquer nous mettront à même de rectifier les erreurs qui ont pu se glisser dans un ouvrage qui, en raison de l'abondance des matières, a eu plus d'extension que nous ne voulions d'abord lui en donner.

Depuis la publication des quatre premiers volumes, la science électrique a été enrichie de découvertes importantes qui doivent trouver naturellement place ici; aussi croyons-nous être agréable au lecteur en ajoutant un livre supplémentaire, dans lequel il trouvera l'exposé des principaux faits qui ont été observés.

LIVRE SUPPLÉMENTAIRE.

DÉCOUVERTES RÉCENTES EN ÉLECTRICITÉ.

CHAPITRE PREMIER.

DE LA MESURE DES COURANTS ÉLECTRIQUES.

§ I^er. *Description de la balance électro-magnétique.*

1248. Lorsque les deux électricités émanent sans interruption d'une source commune, et parcourent des corps conducteurs solides ou liquides dont les dimensions sont invariables, il en résulte un courant dont l'action sur l'aiguille aimantée, ou sur les solutions, dépend de la quantité d'électricité en mouvement et de sa tension. Si toute la quantité d'électricité dégagée ne circule pas librement dans les conducteurs, elle élève leur température. Quand la tension augmente, la même quantité devient apte à vaincre l'inertie des conducteurs, ainsi que l'affinité réciproque de leurs parties constituantes.

L'aiguille aimantée, librement suspendue, est employée ordinairement pour évaluer l'intensité absolue du courant, abstraction faite de la tension de l'électricité.

On n'a trouvé jusqu'ici que deux moyens pour comparer entre eux les courants, sous le rapport de leur intensité absolue. Le premier consiste à faire osciller une aiguille à la même distance d'un fil conducteur traversé par des courants n'ayant pas la même énergie, et à calculer ensuite l'intensité de chacun d'eux au moyen de la

formule du pendule. Cette méthode ne peut servir que lorsqu'il s'agit de comparer ensemble des courants d'une certaine force, produits par de l'électricité fournie par une source constante. La seconde, qui est destinée à évaluer de faibles courants, exige l'emploi d'un multiplicateur; les déviations de l'aiguille aimantée, comme on sait, font connaître l'intensité du courant. Mais quand ces déviations dépassent une certaine limite, il est impossible d'obtenir une loi générale qui exprime le rapport entre la déviation de l'aiguille aimantée et l'intensité du courant, et même de former une table empyrique, capable de donner des résultats sur lesquels on puisse compter.

Nous avons suivi une autre marche : nous évaluons en poids l'effet électro-magnétique d'un courant.

On prend une balance d'essai, TBC (fig. 6), trébuchant à une fraction de milligramme. A chacune des extrémités du fléau ff', on suspend à une tige verticale, d'un décimètre de long, un plateau p, p'. Au-dessous de chaque plateau se trouve un anneau qui sert à suspendre un barreau d'acier aimanté $a\,b$, $a'\,b'$, au moyen d'un fil de soie: chaque barreau a 3 millimètres de diamètre et 8 centimètres de long. Ces deux barreaux sont aimantés à saturation et tournent leur pôle boréal en bas, c'est-à-dire le pôle qui regarde ordinairement le sud, quand l'aiguille aimantée est suspendue horizontalement. On évite par ce moyen que les aimants ne perdent une partie de leur magnétisme. Les deux plateaux de la balance, quand ils sont en équilibre, doivent trébucher au moins à un demi-milligramme.

On prend ensuite deux tubes creux en verre, d'un diamètre assez grand pour que les deux barreaux puissent y entrer sans toucher les parois, quand ils sont placés verticalement au-dessous d'eux. On enroule autour de chacun de ces tubes un fil de cuivre recouvert de soie de manière à former une hélice de dix mille circonvolutions, s'il s'agit de courants électro-chimiques, ou d'un petit nombre de tours si l'on ne veut opérer que

sur des courants thermo-électriques. Ces deux tubes sont alors fixés verticalement sur des petits plateaux horizontaux en cuivre *c c*, *c' c'*, mobiles dans deux directions perpendiculaires entre elles au moyen de vis de rappel *v v'*, afin de pouvoir les centrer par rapport à l'axe des barreaux.

Ne considérons pour un instant qu'une seule des hélices, et faisons passer un courant à travers le fil; il est bien évident que, suivant la direction de ce courant, le barreau aimanté s'élèvera ou s'abaissera et fera participer à ce mouvement le fléau avec lequel il est en rapport. Disposons maintenant la seconde hélice de telle sorte que le mouvement du fléau s'exécute dans le même sens, quand le fil est parcouru par le courant, et faisons communiquer ensuite les deux hélices l'une avec l'autre; les actions qu'elles exerceront sur les deux barreaux s'ajouteront nécessairement. Quelques exemples vont donner une idée de la sensibilité de l'appareil, ainsi que du parti que l'on peut en tirer pour comparer ensemble les courants sous le rapport de leur intensité.

1249. Ayant pris deux lames, l'une de zinc et l'autre de cuivre, présentant chacune une surface de quatre centimètres carrés, et en communication avec les deux extrémités libres des deux hélices, on les a plongées en même temps dans 10 grammes environ d'eau distillée. Les plateaux ont trébuché et il a fallu ajouter un poids de $0^{gr},0025$ pour maintenir l'équilibre. En plaçant dans le circuit un multiplicateur à fil court, l'aiguille aimantée a été déviée de 60°.

N'ayant rien changé au dispositif de l'appareil, on a plongé dans l'eau le bout d'un tube humecté d'acide sulfurique; les plateaux ont trébuché de tout suite dans le même sens, en vertu de l'accroissement de force du courant. Il a fallu alors $0^{gr},0355$ pour maintenir l'équilibre; il résulte de là que le second courant est au premier dans le rapport de 355 à 25, c'est-à-dire à peu près comme 14 est à 1. Une addition à l'eau d'une très-petite quantité d'acide sulfurique a donc suffi pour

rendre le courant quatorze fois plus énergique qu'il n'était auparavant. En ajoutant successivement de l'acide sulfurique jusqu'à 3 grammes, on est arrivé à un point où il a fallu $0^{gr},052$ pour empêcher la balance de trébucher. Les deux courants étaient donc dans le rapport de 1 à 17, rapport qui n'a pas augmenté, comme on le voit, en raison de l'acide. En ajoutant une plus grande quantité d'acide, on n'a pas augmenté l'intensité du courant.

En substituant à l'eau distillée de l'eau saturée à moitié de sel marin, il a fallu $0^{gr},025$ pour maintenir l'équilibre. On a plongé dedans, comme précédemment, un tube humecté d'acide sulfurique; le courant a exercé une action telle qu'il a fallu employer $0^{gr},032$ au lieu de $0^{gr},0355$, comme dans l'expérience précédente, pour maintenir l'équilibre.

En opérant avec un grand couple voltaïque de plusieurs décimètres de côté, il a fallu, pour maintenir l'équilibre, un poids de $0^{gr},0315$, résultat qui est à peu près le même, comme on devait s'y attendre, que celui qu'on a obtenu avec un couple de petite dimension, attendu que l'intensité du courant est dépendante de la longueur et du diamètre du fil qu'il parcourt, ainsi que de la tension de l'électricité.

1250. Nous avons cherché ensuite le rapport entre des courants provenant de piles composées d'éléments plus ou moins nombreux. Avec une pile de 40 couples de 4 centimètres de côté, chargée avec de l'eau renfermant $\frac{1}{50}$ d'acide sulfurique, $\frac{1}{20}$ de sel marin et $\frac{1}{100}$ d'acide nitrique, il a fallu employer $0^{gr},615$ pour maintenir l'équilibre, d'où il suit que l'intensité de ce courant relativement à son action sur l'aiguille aimantée, après avoir traversé les deux spirales, est à celle du courant obtenu avec un seul couple, fonctionnant avec l'eau salée et l'acide sulfurique, comme 6150 : 35, c'est-à-dire comme 176 est à 1.

Ces trois exemples prouvent avec quelle facilité on compare ensemble, au moyen de poids, les intensités

de courants produits par de l'électricité à faible et à forte tension.

Le multiplicateur est, à la vérité, plus sensible que la balance électro-magnétique, mais aussi il ne possède pas les mêmes avantages que ce dernier appareil. Le premier doit être préféré quand il s'agit de constater l'existence et la direction des courants, et l'on doit employer la balance toutes les fois qu'il est nécessaire de comparer ensemble des courants d'intensités très-diverses.

Pour mesurer les courants thermo-électriques, et les comparer aux courants électro-chimiques, on se sert d'hélices disposées comme celles que nous avons décrites précédemment, si ce n'est qu'elles ne sont formées que d'un double rang de circonvolutions.

1251. Appliquons cette méthode, pour en montrer l'usage, à la détermination de la température des diverses enveloppes qui composent la flamme d'une lampe à alcool.

On sait qu'en plaçant dans une des enveloppes d'une flamme les points de jonction de deux fils de platine, n'ayant pas le même diamètre, réunis par un de leurs bouts et en communication par les deux autres avec un multiplicateur thermo-électrique, on a un courant dont l'intensité dépend de la température que possède l'enveloppe. On a trouvé avec le multiplicateur, en admettant que le rapport constant qui existe entre la température et l'intensité du courant jusqu'à 350°, ait encore lieu pour des températures plus élevées, que 1350°, 1080 et 780° centigrades sont les températures des trois enveloppes principales de la flamme d'une lampe à alcool, ou du moins celles qu'acquièrent les fils de métal qu'on y plonge; ainsi plus leur diamètre est petit, plus on obtient des valeurs approchées des températures des diverses enveloppes.

Nous avons voulu voir si l'on n'obtiendrait pas des résultats à peu près semblables en mesurant les températures avec la balance électro-magnétique; les expériences ont été aussi satisfaisantes qu'on pouvait l'espérer: en effet,

En plaçant les points de jonction à l'extrémité de la

flamme bleue, il a fallu employer, pour maintenir l'équilibre, 0gr,00525.

En les plaçant à l'extrémité supérieure de la flamme, on a eu 0gr,004, et dans le rouge naissant, 0gr,00325. Ayant reconnu que pour 135° centigrades de déviation de l'aiguille aimantée, il fallait, pour maintenir l'équilibre, un poids de 0gr,0005, on en a conclu que

0,00525	correspondent	à	1397°,50
0,004	idem	»	1081
0,00325	idem	»	877 ,50

En opérant en même temps avec le multiplicateur, on a obtenu les résultats suivants :

DÉVIATION de l'aiguille aimantée.	INTENSITÉ du courant mesurée avec la balance.	TEMPÉRATURE correspondante.
38	59°	1,310° 98
32	41, 1	913, 24
28	33, 5	743, 50

On voit qu'on a obtenu d'abord 1350°, puis 1397° et 1310° pour la température la plus élevée de la flamme, en employant successivement le multiplicateur, la balance électro-magnétique, et simultanément ces deux appareils. Les différences entre ces résultats proviennent probablement de la difficulté que l'on éprouve à placer dans les mêmes parties de la flamme les points de jonction des deux fils métalliques. Ces expériences prouvent, quoi qu'il en soit, que les fils de platine employés n'acquièrent pas une température supérieure à 1400° dans la partie la plus chaude de la flamme, et que cette température peut servir à apprécier celle de la source.

Il était curieux de connaître aussi la température que

prenaient les points de jonction des deux fils de platine exposés au dard du chalumeau. Ces points ayant été placés à l'extrémité de la pointe bleue, on a eu une intensité égale 72, correspondante à 1599° du thermomètre centigrade.

Nous ne devons pas oublier d'indiquer une précaution à prendre pour assurer le succès des expériences faites avec la balance électro-magnétique : lorsque le barreau aimanté est placé dans l'hélice parcourue par un courant, il est attiré quelquefois par ce dernier plutôt d'un côté que de l'autre, lorsqu'il n'est pas placé exactement dans l'axe du tube de verre. Pour éviter cette cause d'erreur, il faut recommencer l'expérience à diverses reprises, en centrant de nouveau le barreau.

Nous croyons en avoir dit assez pour montrer l'usage de la balance électro-magnétique ; nous verrons plus loin le parti que l'on peut en tirer pour mesurer les effets électro-chimiques.

§ II. *De la pile à courant constant.*

1252. Lorsque l'on veut mesurer l'action continue d'une force, il faut chercher d'abord les moyens nécessaires pour lui donner une intensité constante ou bien une intensité variable suivant une loi connue. Or, le courant électrique produit par les piles ordinaires, et même par un seul couple, est sujet à des variations continuelles qui ne permettent pas de soumettre son mode d'action au calcul. C'est pour parer à cet inconvénient que nous avons construit une pile qui donne naissance à un courant dont l'intensité ne varie pas sensiblement dans l'espace de 24 heures, et même quelquefois de 48 heures.

Nous avons fait connaître (1) un appareil très-simple qui jouit de la propriété de donner un courant qui éprouve peu de variations pendant le temps ci-dessus

(1) T. III, 526.

indiqué : il est formé de deux petits bocaux en verre dont l'un renferme de l'acide nitrique concentré et l'autre une solution de potasse caustique très-concentrée ; les deux bocaux communiquent ensemble au moyen d'un tube de verre recourbé, rempli d'argile très-fine humectée d'une solution de sel marin. Dans le bocal où se trouve l'alcali, plonge une lame d'or, et dans l'autre une lame de platine. Si l'on met en communication ces deux lames, au moyen de fils d'or et de platine, avec le multiplicateur, on a un courant assez énergique qui provient de la réaction de l'acide sur l'eau, le sel marin et la potasse. La lame d'or prend à l'alcali l'électricité négative, et la lame de platine l'électricité positive à l'acide.

1253. Pour obtenir le maximum d'effet, il faut avoir égard, dans la construction de cet appareil, à des principes que nous allons rappeler.

S'il était possible de transformer en courant toute l'électricité qui se dégage dans la combinaison d'une quantité donnée d'acide avec la quantité proportionnelle d'alcali, ce courant serait capable de décomposer à son tour tout le sel formé. D'après cela, si, dans la réaction d'un acide avec un alcali, on parvient à saisir une assez forte partie des électricités dégagées, on pourra avoir un courant d'une intensité suffisante pour effectuer des décompositions. Les liquides étant de très-mauvais conducteurs, comparativement aux métaux, on doit donc employer tous les moyens possibles pour augmenter leur conductibilité. Voici comment nous y sommes parvenu :

On prend deux tubes en platine, de 8 centimètres de long et de deux centimètres de diamètre, recourbés en E, E′ (fig. 7). On adapte en B, B′ un tube de verre de 6 centimètres, qui entre avec frottement dans les tubes de platine ; en E E′ sont soudés deux crochets également en platine ; la partie A B est remplie d'argile humectée avec de l'acide nitrique, la partie B B′ d'argile humectée avec du sel marin, et enfin la partie B′ A′, d'argile humectée avec la solution de potasse. Les extrémités A A′

sont fermées avec des couvercles en platine, pouvant s'enlever facilement et percés d'un grand nombre de petites ouvertures d'un millimètre de diamètre. Dans l'intérieur de ces couvercles on met du coton pour empêcher l'argile de s'échapper par les petites ouvertures. On voit sur-le-champ que l'acide de la partie A B, dès l'instant qu'il réagit sur le liquide du tube B B', prend l'électricité positive, qu'il transmet à la paroi environnante; de même, la paroi du tube B' A' s'empare de l'électricité négative de l'alcali. Pour faciliter cette transmission de l'électricité de l'argile humide au platine, on mêle cette argile avec une quantité plus ou moins considérable de platine en poudre.

Les choses étant ainsi disposées, si l'on fixe des fils de platine aux crochets *t t'*, ces fils peuvent servir à transmettre le courant résultant de la combinaison de l'acide avec l'alcali, dans les solutions que l'on veut soumettre à son action; mais ce n'est pas tout : on plonge l'extrémité A dans un bocal rempli d'acide nitrique, et l'extrémité A' dans un bocal rempli d'une solution alcaline. L'une et l'autre solution monte dans les tubes recourbés à travers les petites ouvertures pratiquées dans les couvercles. Cette disposition nous paraît la plus avantageuse à adopter pour recueillir le plus possible d'électricité dans la combinaison de l'acide avec l'alcali. Quand l'intensité du courant est diminuée sensiblement, au bout d'un certain temps, par suite de la présence du nitrate de potasse dans l'argile du tube de verre, qui, en cristallisant, lui a enlevé une partie de l'eau qu'elle renfermait, on retire alors le tube et on change l'argile. L'action du couple devient telle qu'elle était en premier lieu.

Si l'on considère cet appareil comme formant un seul couple, et que l'on en réunisse plusieurs semblables pour former une pile, de manière que la branche qui renferme l'alcali communique, au moyen d'un fil de platine, avec la branche qui renferme l'acide dans un autre couple, et ainsi de suite, on arrive à former une pile dont l'action

ne varie pas sensiblement dans l'espace de 24 heures, et qui peut servir à opérer des décompositions chimiques. Avant de donner les résultats que nous avons obtenus avec cette pile, nous allons rapporter les expériences que nous avons faites avec l'appareil simple à tube de platine. Les deux fils conducteurs de cet appareil ont été mis en communication avec les deux bouts libres des deux hélices de la balance électro-chimique. Il a fallu, pour maintenir l'équilibre, employer un poids de 0gr.,0085. Un galvanomètre à fil court, placé dans le circuit, a donné une déviation de 79°. Trois couples voltaïques ordinaires ont donné, pour l'évaluation en poids de l'intensité du courant :

NOMBRE de couples.	INTENSITÉ du courant exprimée en poids.	DÉVIATION correspondante du multiplicateur
Un couple........	gr. 0,004	70
Deux couples	0,005	73
Trois couples........	0,006	75

On voit sur-le-champ que le couple construit avec les cylindres de platine donne un courant double en intensité de celui que l'on obtient avec l'un des couples de l'ancien système, et un courant qui est à celui de trois couples dans le rapport de 4 à 3. Ce résultat est important à noter pour les effets électro-chimiques.

1254. Voyons les effets obtenus avec une pile formée avec quatre couples du nouveau système et fonctionnant depuis quinze jours, dans le circuit de laquelle est placé un multiplicateur à fil court ; à l'instant où les communications ont été établies, on a eu une déviation de 76°,50 ; une demi-heure après, la déviation était de 76 : elle n'avait donc perdu qu'un demi-degré ; mais en interrompant la com-

munication pendant cinq minutes, l'aiguille est revenue à 76°,50. Cette expérience, répétée trois heures après, a donné, comme la première fois, 76°,50 ; ensuite elle n'a plus varié pendant 24 heures. Cette légère différence obtenue dans les premiers instants, est due à l'action de l'acide et de l'alcali sur les corps étrangers adhérents aux lames de platine.

Ce résultat, c'est-à-dire, cette permanence dans l'intensité du courant, nous annonce un fait assez important, c'est que les surfaces de platine ne se polarisent pas sensiblement dans les circonstances où nous opérons.

Il est facile de se rendre compte de l'effet sensiblement constant de cet appareil : on sait que les lames métalliques décomposantes faisant partie d'un circuit voltaïque, et plongeant dans une solution, se polarisent de manière à produire un courant dirigé en sens inverse du premier. La polarisation de chacune de ces lames consiste dans le dépôt des éléments transportés sur sa surface par le courant, et dont la nature dépend de la position de cette lame par rapport aux extrémités de la pile. Tant que ces éléments restent en contact avec la lame, il y a un courant dirigé en sens contraire du courant primitif; mais si la substance est entourée d'un liquide qui ait une forte affinité pour elle, elle se combine avec lui et la lame est aussitôt dépolarisée. C'est précisément ce qui arrive dans les différents éléments de la pile que nous décrivons; la lame de chaque couple qui plonge dans l'acide étant le pôle négatif, attire l'alcali du sel marin et du nitrate de potasse formé, lequel se combine immédiatement avec l'acide environnant. De même, l'acide du sel marin et celui du nitrate de potasse est transporté sur la lame positive et se combine avec l'alcali environnant. Il n'existe donc pas, à proprement parler, de polarisation; aussi il n'y a pas de raison pour que la pile éprouve des variations tant que la combinaison de l'acide avec l'alcali, par l'intermédiaire du tube recourbé, s'effectue d'une manière lente et régulière.

1255. Pour donner une idée des effets qui proviennent de la polarisation des lames, nous rapporterons les expériences suivantes, faites successivement avec un, deux, trois, quatre couples, en dirigeant le courant dans une solution de sel marin, au moyen de deux lames de platine, et plaçant un multiplicateur dans le circuit (fig. 8).

Avec un couple, l'aiguille aimantée a été chassée, à l'instant où le circuit a été fermé, à 37°; elle s'est arrêtée à 5°; peu à peu la déviation a diminué, et dix minutes après elle était nulle. En interrompant la communication avec le couple et la rétablissant immédiatement, l'aiguille aimantée n'a pas été déviée; en ne la rétablissant qu'au bout d'une demi-heure, l'aiguille a été de nouveau chassée à 37°.

Avec deux couples, à l'instant de la fermeture du circuit, l'aiguille a été toucher le point d'arrêt;

Deux minutes après elle s'est arrêtée à.. 25
Cinq minutes après à............... 18
Cinq minutes après à............... 16

Trois couples.

Première impulsion; l'aiguille touche l'arrêt :
Deux minutes après.................. 52
Cinq minutes après.................. 28
Cinq minutes après.................. 21

Quatre couples.

Première impulsion; l'aiguille touche l'arrêt :
Deux minutes après, l'aiguille est chassée à 56
Cinq minutes après, à.............. 35
Cinq minutes après, à.............. 30

On voit que les effets de la polarisation sont d'autant moindres que l'on opère avec plus de couples.

Il est facile d'expliquer pourquoi, avec un couple, les lames de platine sont polarisées en peu d'instants, au

point d'annuler l'effet du courant primitif. Les deux lames de platine qui se trouvent dans le sel marin, en se polarisant, s'entourent, l'une d'acide et l'autre d'alcali, de manière que ces deux corps, en réagissant sur l'eau salée, produisent un courant égal en intensité à celui qui est fourni par le couple électro-chimique, si ce n'est qu'il est dirigé en sens inverse. Cet effet doit se produire dès l'instant que les lames sont recouvertes d'une quantité suffisante d'acide et d'alcali pour réagir sur les liquides environnants.

Avec deux couples, la polarisation étant toujours égale à l'action d'un seul, ne doit plus annuler le courant primitif; aussi en résulte-t-il une différence d'effets, qui devient ensuite d'autant moindre, que l'on opère avec plus de couples, comme les résultats suivants le prouvent :

NOMBRE de couples.	DURÉE de l'expérience.	DÉVIATION de l'aiguille aimantée.	FORCE correspondante.
1	12 minutes	0	0
2	Idem	16	16
3	Idem	21	22,1
4	Idem	30	37,2

D'après ces observations, pour obtenir des décompositions chimiques avec le courant provenant d'un seul couple, il faut disposer les choses pour que les lames décomposantes ne soient pas polarisées; c'est ce qui arrive, par exemple, quand elles sont en cuivre, et que le liquide soumis à leur action est du nitrate de même métal : le cuivre qui se dépose sur la lame négative ne réagit pas sur la solution de nitrate, et l'acide nitrique qui se rend sur la lame positive en se combinant avec le cuivre, accroît

l'intensité du courant. Il en est de même pour toutes les dissolutions métalliques dont les oxides sont réduits immédiatement, pourvu que l'on emploie des lames d'une nature convenable.

1256. Les effets de polarisation des lames décomposantes sont d'une telle importance pour l'étude des phénomènes électro-chimiques, que nous croyons devoir entrer dans de nouveaux détails à cet égard.

Le courant à intensité constante éprouve des variations, comme on vient de le voir, quand les lames de platine décomposantes plongent dans des dissolutions salines dont les bases ne peuvent être réduites immédiatement. Ces variations ne sont pas dues entièrement à la polarisation : une partie doit être rapportée à la réaction des dissolutions sur les corps étrangers adhérents aux lames de platine, comme on l'a déjà dit, et comme le prouve encore l'expérience suivante :

Ayant placé dans le circuit de l'acide sulfurique concentré, où plongeaient deux lames de platine, l'aiguille aimantée fut déviée de 36° ; cinq minutes après elle n'était plus que de 29° ; elle descendit à 25° et resta longtemps dans cette position. Nul doute que la réaction de l'acide sur les corps étrangers adhérents au platine ne fût la cause de cette diminution rapide dans l'intensité du courant. Nous avons avancé depuis longtemps le principe que la polarisation des lames décomposantes devait être attribuée à la réaction, sur le liquide environnant, des éléments déposés par le courant sur ces mêmes lames, même lorsque ce courant provenait du couple le moins actif. Ce principe peut être démontré à l'aide de réactifs propres à constater la présence de quantités excessivement faibles d'acide et d'alcali. On prend un tube recourbé en U, dans lequel on verse une solution de sel marin, colorée par l'infusion de chou rouge, et l'on met en communication les deux branches avec un seul couple de l'appareil à courant constant, puis l'on introduit dans le circuit un multiplicateur à fil court. La déviation de l'aiguille aimantée est d'abord de 45° ; elle diminue

successivement jusqu'à devenir nulle. En même temps le liquide contenu dans la branche positive prend une teinte rouge, et celui qui se trouve dans la branche négative une teinte verte. Ces deux réactions nous accusent la présence d'un acide et d'un alcali dans les deux parties du liquide soumis à l'action du couple. L'expérience suivante tend encore à prouver que la polarisation provient bien du transport des éléments :

Prenons l'élément de la pile à intensité constante, et faisons communiquer la lame de platine qui se trouve dans l'acide avec le pôle négatif d'une pile de 30 éléments, chargée comme à l'ordinaire, et la lame de platine qui plonge dans la dissolution alcaline avec le pôle positif de la même pile; les deux lames vont se polariser par suite du transport de l'alcali sur la lame négative et de l'acide sur la lame positive. Si, avant cette expérience, l'on a mesuré l'intensité du courant produit par l'élément quand les deux fils de platine extrêmes sont mis en relation avec le multiplicateur, et si on la mesure de nouveau après que le même élément a été mis en communication pendant 10 minutes avec la pile, on trouve que dans l'un et l'autre cas l'intensité est la même. Cependant il y a eu transport d'éléments sur les lames de platine. Mais cette absence de polarisation vient de ce que l'alcali s'est combiné immédiatement avec l'acide, au fur et à mesure qu'il arrivait sur la lame de platine qui plongeait dans l'alcali; tandis que l'acide entrait immédiatement en combinaison à l'instant où il se déposait sur la lame qui plongeait dans l'alcali.

§ III. *Considérations sur les rapports qui lient les affinités aux forces électriques.*

1257. La mesure des affinités est une des grandes questions qui occupent depuis longtemps les philosophes. La théorie atomique a bien jeté quelque jour sur leur mode d'action; mais elle n'a pu parvenir encore à comparer ensemble les intensités des forces en vertu des-

quelles une même substance se combine séparément avec deux autres.

L'affinité chimique des corps est la faculté qu'ils possèdent de se combiner les uns avec les autres, jusqu'à ce qu'ils se trouvent unis dans la proportion qui constitue leur état de saturation, c'est-à-dire, jusqu'à ce qu'ils perdent leur affinité mutuelle et rentrent dans un repos parfait.

On a pris pour le rapport des affinités d'un corps pour deux autres, celui des quantités pondérables de ceux-ci que le premier peut saturer. Cette méthode, qui est rationnelle, ne donne pas néanmoins une idée exacte de la force qui mesure les affinités; il faut recourir pour cela à l'électricité. On conçoit effectivement qu'un courant électrique, qui opère la séparation des éléments d'une combinaison, peut représenter la force qui maintient cette combinaison, et par suite servir de mesure à leur affinité réciproque; mais la difficulté est de déterminer rigoureusement l'intensité du courant nécessaire pour opérer la séparation des éléments. Toute la question est là.

Depuis les belles découvertes de M. Faraday sur la nature définie et l'extension de la décomposition électrochimique, nous savons que le pouvoir chimique d'un courant électrique est en proportion directe avec la quantité absolue d'électricité qui passe. Ce principe a été vérifié pour la première fois sur le proto-chlorure d'étain, qui ne renferme pas d'eau. L'appareil était tellement disposé, que le chlore développé sur la lame positive formait du bi-chlorure d'étain qui se volatilisait, tandis que l'étain se déposait sur la lame négative. Voici les résultats d'une des expériences que nous lui devons:

La lame négative pesait 20 grains, et après que le dépôt eut été effectué, 23 grains 2. L'étain transporté pesait donc 3 grains 2. D'un autre côté, la quantité d'oxygène et d'hydrogène provenant de l'eau décomposée par le même courant pesait 0,49742 grains. Il résulte de là que le même courant qui décomposait ce poids d'eau,

décomposait aussi un poids de proto-chlorure d'étain qui contenait 3,2 grains de métal. Il en a conclu dès lors cette proportion : 0,49742 : 3,2 :: 9 équivalent de l'eau : 57,9 équivalent de l'étain ; résultat qui est sensiblement le même que celui que l'on obtient par les procédés ordinaires de la chimie. C'est en suivant une marche semblable que M. Faraday est parvenu à trouver les équivalents électro-chimiques d'un certain nombre de corps, qui coïncident parfaitement avec les équivalents chimiques ordinaires.

Le procédé employé par M. Faraday indique bien les moyens de déterminer les équivalents des corps, mais nullement l'intensité de la force qui agit à chaque instant. C'est cette lacune que nous avons essayé de remplir au moyen des appareils décrits précédemment.

1258. Quelques développements sur les rapports qui lient les affinités aux forces électriques sont indispensables ici.

On a remarqué depuis longtemps que les éléments qui sont combinés avec le plus d'énergie, sont aussi ceux qui sont décomposés avec le plus de force par le courant, et que les éléments qui sont combinés en vertu de faibles affinités, sont ceux qui obéissent le moins à l'action décomposante de l'électricité en mouvement. Il paraît résulter de là que tous les corps composés se séparent sous l'influence d'un courant électrique, en raison de la force de l'affinité qui unit leurs éléments. M. Faraday a prouvé en outre, par des expériences décisives, qu'un courant qui traverse l'eau en décompose une portion qui est exactement proportionnelle à la quantité d'électricité que l'on fait passer, en supposant, bien entendu, que la source d'électricité soit la même.

Quand cette électricité traverse une solution, elle rend aux éléments qui sont combinés les états électriques qu'ils possédaient avant la combinaison, et qui sont précisément ceux qui se sont manifestés quand la combinaison s'est opérée. Or, comme tout porte à croire que les états électriques sont dépendants des affinités, il

s'ensuit que, lorsque deux corps réagissent l'un sur l'autre, si l'on pouvait recueillir toute l'électricité qui devient libre, cette électricité servirait à mesurer les affinités, puisque la tension paraît en rapport avec des affinités.

D'un autre côté, il est bien établi par les expériences de M. Faraday, 1° que les pouvoirs électriques sont définis comme l'action chimique de l'électricité; 2° qu'une quantité considérable d'électricité, sous forme de courant, ne décompose que peu d'éléments; qu'un grain d'eau acidulée exige, par exemple, pour sa décomposition, un courant électrique continu, fonctionnant pendant 3 minutes 45″, lequel est suffisant pour maintenir à la chaleur rouge dans l'air, pendant le même temps, un fil de platine de $\frac{1}{104}$ de pouce de diamètre; 3° que l'agent électrique est employé seulement à vaincre les pouvoirs électro-chimiques; d'où l'on peut tirer la conséquence que la quantité qui passe est au moins égale à celle que possèdent les molécules séparées, c'est-à-dire, que si le pouvoir électrique qui tient combinés les éléments d'un grain d'eau pouvait devenir un courant, il serait égal au courant nécessaire pour séparer les éléments du grain d'eau; 4° qu'il existe un accord parfait entre la théorie des proportions définies et celle de l'affinité électro-chimique; d'où il résulte que l'on peut considérer les parties équivalentes des corps, comme des volumes qui contiennent d'égales quantités d'électricité, ou qui ont des pouvoirs électriques égaux. Les atomes des corps qui sont équivalents l'un à l'autre dans leur action chimique ordinaire, possèdent donc des quantités égales d'électricité unies à eux.

M. Faraday mesure l'électricité qui passe dans une solution, au moyen de l'action chimique qu'elle produit. Il emploie à cet effet un appareil qui, placé sur la route du courant, peut servir à volonté d'étalon comparatif ou de mesureur absolu de l'électricité. Cet appareil lui a servi à faire voir que l'action chimique décomposante d'un courant est constante pour une même quantité d'électricité, malgré les variations qui peuvent avoir

lieu dans son intensité, dans les dimensions des fils ou plaques employés, et la nature des corps conducteurs au travers desquels elle passe.

La forme des appareils décomposants varie suivant la nature des expériences que l'on a en vue. S'agit-il de recueillir des substances gazeuses? il se sert de tubes droits gradués contenant chacun une lame de platine et un fil de même métal soudé avec de l'or et fixé par la fusion à l'extrémité fermée du tube. Ces tubes sont remplis d'une solution quelconque, par exemple, d'une solution d'acide sulfurique dans l'eau; après en avoir rempli ces tubes, on les renverse dans un vase renfermant le même liquide. Quand il veut connaître l'influence qu'exercent les dimensions des plaques, il met tous ces appareils en communication les uns avec les autres et avec l'appareil voltaïque, afin que tout le système soit traversé en même temps par le courant électrique. C'est en opérant de cette manière qu'il a trouvé que la quantité de gaz était sensiblement la même, quelles que fussent les dimensions des plaques et la nature des liquides contenus dans les différents appareils.

M. Faraday a disposé aussi trois appareils de manière que le courant, après avoir traversé l'un d'eux, se divisait en deux autres qui se réunissaient ensuite. Il a trouvé dans ce cas que la somme des décompositions dans les deux derniers appareils était toujours égale à la décomposition dans le premier.

Il résulte enfin de toutes les expériences de M. Faraday, qu'un courant qui traverse l'eau en décompose une portion qui est exactement proportionnelle à la quantité d'électricité qui est passée, indépendamment des nombreuses différences de variation que cette électricité éprouve, pourvu cependant que la source ne change pas. Ainsi donc, en se garantissant de certains effets secondaires, tels que des dissolutions ou recombinaisons de gaz dans les liquides, les produits de la décomposition peuvent servir à mesurer l'électricité employée.

1259. On voit parfaitement que, dans les expériences de M. Faraday, il est inutile d'avoir un courant constant, puisque tous les appareils décomposants se trouvant liés ensemble, éprouvent tous en même temps les effets des variations du courant; dès lors les résultats sont les mêmes que si ce courant primitif avait une intensité invariable. Néanmoins il n'est pas sans intérêt pour la science d'établir les rapports qui peuvent exister entre les effets produits et l'intensité de la force mise en mouvement par l'appareil à courant constant. La solution de cette question, si l'on veut remonter jusqu'à la force strictement nécessaire pour vaincre les affinités, présente des difficultés; mais nous ne la croyons pas impossible. Voici le résultat des premières recherches que nous avons faites à ce sujet, en faisant toujours marcher de front la balance électro-magnétique et le multiplicateur à fil court:

Lorsque l'on fait passer un courant invariable dans deux solutions de nitrate de cuivre à différents degrés de saturation et communiquant entre elles, d'une part avec un fil de cuivre, de l'autre avec deux fils de même métal en relation avec l'appareil décomposant, la quantité de sel décomposée est absolument la même dans les deux. On a pris 2gr.,8 de nitrate de cuivre sec que l'on a fait dissoudre dans 10gr.,3 d'eau; moitié de la solution a été augmentée de son volume d'eau distillée. Les deux fils de cuivre qui plongeaient dans les deux branches négatives pesaient chacun 0gr,3385. Après 48 heures d'expérience, ces fils pesaient chacun 0gr.,36; ils avaient donc gagné en poids 0gr.,0215. L'intensité du courant exprimée en poids était représentée par 0gr.,005.

La déviation de l'aiguille aimantée était égale à 66°; l'intensité du courant ayant été diminuée de moitié, la déviation n'a plus été que de 45°. La quantité de cuivre réduite dans l'espace de 48 heures a été trouvée égale à 0gr.,01, c'est-à-dire, moitié de ce qu'elle était dans l'expérience précédente.

On a soumis le même fil et les mêmes solutions à l'action d'un courant faisant équilibre à 0gr.,003 pendant

12 heures; on a obtenu 0gr.,0015. Or, si l'on compare les quantités de cuivre réduites dans les deux expériences, on les trouve exactement proportionnelles aux intensités du courant. Diverses expériences du même genre ont été faites sur des solutions d'argent, en variant la densité de ces solutions et l'intensité du courant. On voit donc que lorsque la source reste constante, si l'on diminue l'intensité du courant, en introduisant dans le circuit des fils métalliques d'une certaine longueur, les quantités de métal réduit sont exactement proportionnelles aux intensités du courant.

Ces résultats sont parfaitement d'accord avec ceux qui ont été découverts par M. Faraday. Il y a cette différence entre les résultats du physicien anglais et ceux que nous rapportons ici, c'est qu'il fait abstraction de l'intensité absolue du courant, tandis que nous en tenons compte. Nous introduirons donc, dans les expériences, un élément nouveau qui peut avoir de l'importance.

1260. Nous avons cherché avec la balance électro-magnétique, lorsque l'on soumettait à l'action d'un même courant, d'une intensité connue, des dissolutions de différents métaux, dans quel rapport se trouvaient les quantités de métal réduit. Nous avons introduit dans le circuit trois dissolutions, l'une de cuivre, l'autre d'argent et la troisième de zinc. Ces dissolutions se trouvaient dans des tubes en U, et chacune d'elles était en contact, du côté positif, avec une lame de platine, et du côté négatif avec une lame du métal qui se trouvait dans la dissolution. Le tout était soumis à l'action d'un appareil composé de deux couples préparés comme il a été dit ci-dessus. Voici les résultats que nous avons obtenus :

L'intensité du courant faisait équilibre à un poids de 0,gr.005.

Après 24 heures d'expérience, l'argent précipité pesait 0,gr.0305; le poids du cuivre précipité 0,gr.0090; le poids du zinc précipité 0,gr.00912. Or, si l'on cherche le rapport des trois quantités de métal précipité, on trouve qu'elles sont proportionnelles aux poids atomiques de l'ar-

gent; du cuivre et du zinc, puisque que si l'on considère les deux premières, on a 305 : 90 :: 108 poids atomique de l'argent : 31,8, au lieu de 31,6 poids atomique du cuivre. De même 3050 : 912 :: 108 : 32,3, au lieu de 32,5 trouvé par M. Faraday. On voit donc que l'appareil à courant constant, composé seulement de deux couples, avec la balance électro-magnétique, a permis de vérifier la loi relative à la nature définie de la décomposition électro-chimique, en tenant compte de l'intensité de la force qui a produit la décomposition.

CHAPITRE II.

DE L'INFLUENCE PAR INDUCTION D'UN COURANT ÉLECTRIQUE SUR LUI-MÊME, ET DE L'ACTION INDUCTIVE DES COURANTS EN GÉNÉRAL.

1261. On sait que lorsque l'on réunit les deux pôles d'une pile, composée d'un petit nombre d'éléments, avec un conducteur métallique de peu de longueur, on n'obtient qu'une faible étincelle à l'instant où l'on rompt le circuit. On n'éprouve également qu'une légère secousse si le corps fait partie du circuit. Ces deux effets s'affaiblissent encore si le conducteur s'allonge et reste développé. Il n'en est plus de même lorsque ce fil est enroulé en hélice à spires serrées, chaque spire étant séparée l'une de l'autre avec de la soie. Dans ce cas, l'étincelle est plus intense et plus prolongée, et la secousse devient plus forte. L'action est encore augmentée quand on introduit dans l'hélice un barreau de fer doux.

Les effets observés dans cette circonstance paraissent avoir été aperçus pour la première fois par M. le professeur Henry, de Philadelphie, puisqu'il en est fait mention dans le *Journal des Sciences américain*, pour juillet 1832, tandis qu'il n'est rapporté dans le *Journal des Sciences de Londres et d'Édimbourg* que pour 1834.

M. Jenkins s'en est occupé ensuite, puis M. Faraday les a étudiés d'une manière approfondie.

Voici comment M. le professeur Henry a décrit le fait qu'il paraît avoir observé le premier :

« Quand on excite modérément une petite batterie « par une solution acide, et qu'on unit ses pôles terminés « par des coupes de mercure au moyen d'un fil de cuivre « n'ayant pas plus d'un pied de long, on n'aperçoit pas « d'étincelle en établissant ou en interrompant le con- « tact; mais si l'on se sert d'un fil de 30 ou 40 pieds de « long au lieu d'un fil court, quoiqu'il n'y ait pas d'étin- « celle perceptible quand on fait la réunion, cependant si « l'on rompt le contact en enlevant une des extrémités « du fil hors de la coupe de mercure, il se produit une « vive étincelle.

« Si l'action de la batterie est très-intense, avec un « fil court on obtiendra une étincelle; dans ce cas il suffit « seulement d'attendre quelques minutes jusqu'à ce que « l'action partielle s'arrête ou qu'il n'y ait plus d'étin- « celles; si l'on substitue alors le fil long, on obtiendra « de nouveau une étincelle. L'effet paraît quelque peu « augmenté si l'on enroule le fil autour d'une hélice; il « paraît aussi dépendre, jusqu'à un certain degré, de la « longueur et de l'épaisseur du fil. Je ne peux rendre « compte de ces phénomènes qu'en supposant que le long « fil se charge d'électricité qui, par sa réaction sur « elle-même, projette une étincelle à la rupture du con- « tact (1). »

1262. M. Faraday a fait usage, pour analyser ces effets qui n'avaient été qu'aperçus, d'un couple voltaïque composé d'un cylindre de zinc, placé entre les deux parties d'un double cylindre de cuivre, séparé du premier au moyen de morceaux de liége. Deux coupes, remplies de mercure, servaient à établir la communication entre les deux cylindres de cuivre et de zinc. Il a préparé des conducteurs composés de fils métalliques longs ou courts, d'hélices de plusieurs espèces et d'aimants électro-magnétiques.

La première hélice I qu'il a employée était formée

(1) Journal de Sillimau, vol. XXII, p. 408.

d'un tube de carton, autour duquel étaient enroulés quatre fils de cuivre de $\frac{1}{24}$ de pouce anglais de diamètre, et de 48 à 49 pieds de longueur. Chaque spire était séparée l'une de l'autre avec un morceau d'étoffe isolante. La première et la troisième, réunies, formaient un circuit de 96 pieds; la deuxième et la quatrième, un autre circuit de 94 pieds, 5.

La seconde hélice II était construite également sur un cylindre de carton, avec deux fils de cuivre de même diamètre que le précédent et d'une longueur de 46 pieds.

Enfin la troisième III était préparé aveec un fil de cuivre de $\frac{1}{5}$ de pouce de diamètre et de 76 pieds de long.

L'aimant électrique destiné à produire les phénomènes d'induction consistait en une barre cylindrique de fer doux, de 25 pouces de long et de 1 pouce $\frac{3}{4}$ de diamètre, recourbée en anneau, de manière que les deux extrémités se touchaient presque; autour de chacune d'elles étaient enroulés trois gros fils de cuivre recouverts; au besoin, les extrémités semblables étaient réunies ensemble pour former un seul fil ayant trois fois l'épaisseur du fil simple.

Voyons actuellement les effets généraux et particuliers que l'on obtient quand on complète la communication entre les deux éléments de l'appareil voltaïque avec un des conducteurs précédents, d'abord avec l'aimant électrique : on obtient dans ce cas des étincelles longues et brillantes, à l'instant seulement où l'on interrompt la communication.

La première hélice ou la troisième donne également l'étincelle, lors de l'interruption. Pour obtenir un choc, faible à la vérité, M. Faraday a été forcé de réunir ensemble les extrémités semblables des hélices première et deuxième, afin d'avoir une hélice de même longueur, double en épaisseur. Le pouvoir de produire l'étincelle et la commotion existe donc dans une hélice simple comme dans l'aimant, quoiqu'à un degré moindre.

Pour montrer la supériorité de l'hélice sur les autres

modes de communication, M. Faraday a pris un fil de cuivre de 67 pieds de long; l'ayant recourbé par le milieu, l'une des moitiés fut enroulée en hélice et l'autre resta droite; puis il employa chacune de ces moitiés comme fil de communication : l'hélice donna les plus fortes étincelles.

Un fil court, de 2 à 3 pouces, ne donna rien de semblable; à peine l'étincelle fut-elle visible à la disjonction.

En prenant un fil de cuivre de 114 pieds de long et de $\frac{1}{18}$ de pouce de diamètre, M. Faraday a obtenu une brillante étincelle à la rupture du circuit, quand il croisait le fil de manière que les deux bouts se trouvassent en contact près de leurs extrémités; la température s'élevait alors beaucoup, tandis que l'étincelle à la rupture du contact était à peine sensible.

La force additionnelle que reçoivent les circuits provient évidemment d'une propriété du courant, soit permanente, soit momentanée, que possède le fil même, puisque M. Faraday s'est assuré qu'aucun changement ne survient dans la quantité ou l'intensité du courant dans le cours de l'expérience, autre que la perte qu'il doit éprouver en traversant un fil long ou un fil court.

Au reste, l'expérience suivante prouve que, quel que soit le mode d'expérimentation, le courant permanent perd en force dans la proportion que les effets s'exaltent, quand on interrompt le contact. Si l'on soude un fil fin de platine de 1 à 2 pouces de long au long fil de communication et un fil semblable de platine aux deux extrémités du fil court, on trouve, en établissant et interrompant la communication avec le platine et le mercure de l'une des deux coupes, qu'avec le fil court le platine est enflammé par le courant, pendant qu'il chemine, en raison de la quantité d'électricité fournie; tandis que l'étincelle à la rupture du contact est à peine visible. Avec le fil long, qui diminue la vitesse du courant, la température ne change pas sensiblement tant que circule le courant, et l'on n'obtient une étincelle bril-

lante qu'à l'instant de l'interruption. Il résulte de là que la diminution dans l'étincelle et le choc, ayant lieu avec le courant le plus énergique et l'augmentation avec le courant le plus faible, l'étincelle et le choc, au moment de la disjonction, ne doivent pas être considérés comme des indications directes de l'intensité ou de la quantité de l'électricité mise en mouvement.

1263. Les faits que nous venons de mentionner tendent bien à prouver que l'étincelle brillante que l'on obtient avec l'appareil voltaïque, et la commotion que l'on ressent dans les bras, lorsqu'on emploie le long fil pour opérer la décharge, proviennent de ce que le courant qui traverse ce fil est divisé en deux autres qui passent, l'un à travers le corps, l'autre à travers l'appareil, en vertu d'une action développée immédiatement dans le fil de communication, et qui serait telle qu'avec un fil meilleur conducteur, la totalité du double courant passerait par le premier conducteur; voici comment M. Faraday a prouvé l'existence de ce courant secondaire: Soient (fig. 9) Z et C les pôles de l'appareil voltaïque; G et E les coupes remplies de mercure, avec lesquelles le contact est établi; A et B les bouts du long fil D, disposé en hélice ou en aimant électrique; N et P deux fils recourbés, qui peuvent être mis en contact en x, ou en relation avec un appareil décomposant.

L'expérience montre, comme nous l'avons déjà dit, qu'on éprouve une commotion par l'effet du courant qui traverse le fil croisé, quel que soit l'état de D; quant à l'étincelle, elle se montre en x de la manière suivante : supposons que D représente un aimant électrique, et que les extrémités en x du fil croisé se joignent entre elles ou glissent l'une sur l'autre, pendant que le contact est rompu en G ou E. Lorsque la communication est établie en x, on n'aperçoit à la solution de continuité, en G ou E, qu'une faible étincelle, ou rien du tout. Si le rapprochement est suffisant en x pour la manifestation des effets, on aperçoit en ce point une brillante étincelle au moment de la disjonction, et

aucune lueur en G ou E. Cette étincelle indique évidemment le passage du courant secondaire à travers les fils croisés. Quand le courant ne passe pas en x, ce qui arrive lorsque les fils N et P ne se touchent pas, l'étincelle se montre alors en G ou E, de sorte que le courant secondaire se fraye un chemin à travers l'électromoteur même. Les résultats sont les mêmes si l'on substitue en D, à l'aimant électrique, une hélice ou un fil étendu.

Si l'on place un fil fin de platine en x, et un aimant électrique en D, il ne se produit rien; mais aussitôt que l'on rompt le contact en G ou E, le fil fin est brûlé et fondu instantanément. Cet effet est plus difficile à obtenir avec une hélice ou un fil tendu.

1264. On effectue la décomposition chimique avec le courant passant dans le fil croisé, en plaçant en D un aimant électrique, et en x une bande de papier humectée d'une solution d'iodure de potassium.

M. Faraday a trouvé que le pouvoir conducteur du système de communication A B D était suffisant pour transmettre tout le courant primitif, et qu'il n'y avait par conséquent aucune action chimique en x tant que le contact était maintenu en G et en E, mais qu'aussitôt que le courant était rompu, il y avait instantanément décomposition en x. L'iode apparaissait sur le fil P, ce qui annonçait que le courant à travers les fils croisés, dès l'instant que le contact était interrompu, cheminait dans une direction inverse de celui qui provenait de l'électro-moteur.

Dans cette expérience, on apercevait une brillante étincelle à l'endroit de la disjonction, laquelle indiquait qu'il n'y avait qu'une portion du courant secondaire qui passait en x, à cause du faible pouvoir conducteur de cette partie. On n'a obtenu que de très-faibles actions chimiques avec les hélices simples et les fils non enroulés.

1265. Les expériences suivantes servent encore à montrer les effets des courants secondaires : Un multiplica-

teur fut placé en x, un aimant électrique en D, et le contact fut maintenu. La déviation de l'aiguille aimantée indiqua aussitôt un courant de P en N, de sorte que le fil croisé servait à transmettre une portion de l'électricité provenant de l'électro-moteur, tandis que la plus grande partie circulait dans B D A. L'aiguille aimantée ayant été remise dans sa position naturelle au moyen de deux barreaux placés à ses extrémités, fut déviée fortement dans une direction opposée quand la communication fut interrompue en G ou en E. On voit donc, d'après les effets chimiques et les effets produits sur l'aiguille aimantée, que le courant secondaire suit dans les fils croisés une direction contraire à celle du courant produit par l'électro-moteur.

1266. M. Faraday a établi la différence qui existe, sous le rapport de la quantité, de l'intensité et même de la direction, entre le courant primitif et le courant secondaire ou courant induit, et est parvenu même à séparer ces deux courants l'un de l'autre de la manière suivante :

L'une des doubles hélices I, indiquées ci-dessus, fut disposée de manière à pouvoir servir de fil de communication entre les plaques de l'électro-moteur; l'autre double hélice II se trouvait en dehors du courant, et ses extrémités sans connexion. La première fonctionnait très-bien et donnait une belle étincelle au moment et à l'endroit de la disjonction. Les extrémités opposées de la seconde hélice II ayant été réunies, l'hélice I restant toujours la même, aucune étincelle ne put être obtenue de cette dernière à l'endroit de la disjonction. Les extrémités de l'hélice II furent tellement rapprochées l'une de l'autre qu'aucun courant traversant cette hélice ne pouvait produire d'étincelle, on en obtint alors une de la seconde, lorsque l'on interrompait la communication de la première avec l'électro-moteur.

Un galvanomètre et un appareil décomposant ayant été placés dans le circuit formé par l'hélice II, on obtenait facilement la déviation de l'aiguille aimantée et la

décomposition produite avec le courant induit provenant de la rupture du contact de l'hélice I, ou de celle qui avait lieu lorsqu'on établissait le contact entre cette hélice et l'électro-moteur.

Des effets semblables furent obtenus avec deux longs fils étendus, n'ayant plus la forme d'hélice, mais placés très-près l'un à côté de l'autre. Il résulte de là que le courant secondaire peut être porté d'un fil conducteur à un fil voisin, et qu'il est absolument identique avec le courant induit.

L'étincelle brillante et le choc que l'on a obtenus lors de la disjonction peuvent donc être expliqués ainsi : si l'on transmet un courant dans un fil, et qu'un autre fil formant un circuit fermé soit placé parallèlement au premier, à l'instant où le courant se manifeste dans celui-ci, il s'établit un courant suivant la même direction dans le second, et le premier ne produit plus alors qu'une faible étincelle; mais si le second fil est enlevé, la disjonction du premier produit un courant dans la même direction, accompagné d'une forte étincelle; tandis que le courant, induit dans le second, produit une forte étincelle lors de la disjonction. On voit par là que l'étincelle obtenue dans le long fil ou l'hélice, à l'instant de l'interruption, est la même que celle qui proviendrait du courant produit dans un fil voisin, si on laissait passer un semblable courant.

1267. On peut expliquer maintenant les effets que l'on a obtenus avec les fils courts, les fils longs, les hélices et les aimants électriques : si l'on observe, par exemple, l'action inductive d'un fil d'un pied de long sur un fil voisin de même longueur, on la trouve très-faible ; mais si l'on porte leur dimension jusqu'à 50 pieds, on a dans le fil voisin un courant beaucoup plus puissant au moment de la rupture du contact; dans ce cas chaque partie de la longueur du fil ajoute quelque chose à la somme de l'action. On obtient encore le même résultat quand le fil conducteur est celui dans lequel se forme le courant induit; on voit par là pourquoi un long fil

donne, à la rupture du circuit, une étincelle plus brillante qu'un fil court qui conduit mieux l'électricité. Quand le fil est transformé en hélice, les effets sont plus énergiques, parce que l'action mutuelle inductive de chacune des circonvolutions aide celle qui l'avoisine et réciproquement, ce qui fait que la somme des effets est considérablement augmentée.

Avec un aimant électrique, l'effet est encore plus fort, attendu que le fer, rendu magnétique par le pouvoir d'un courant continu, perd son magnétisme dès que celui-ci cesse de passer, d'où résulte un courant électrique dans le fil qui l'entoure, semblable à celui que la cessation du courant dans l'hélice tend à produire.

On peut expliquer, en s'appuyant sur les lois d'induction, pourquoi, lorsque l'on double un long fil de manière que le courant ait dans les deux parties des directions opposées, il n'y a pas d'étincelle à l'instant de la disjonction, et qu'au contraire, lorsque deux courants, dirigés dans le même sens, sont simultanément arrêtés, ils s'aident l'un l'autre par leur influence mutuelle.

1268. M. Faraday a cru devoir conclure de plusieurs expériences, que nous ne rapportons pas ici, 1° que l'intensité et la quantité de l'électricité en mouvement dans un courant sont plus faibles quand le courant commence, ou s'accroît, et plus grandes quand il diminue, qu'elles ne le seraient si l'action inductive produite dans cet instant n'avait pas lieu; 2° que les forces inductives paraissent être latérales, c'est-à-dire, qu'elles sont développées dans une direction perpendiculaire à celle des courants primitifs, de sorte qu'elles peuvent être représentées par les courbes magnétiques. Si l'on prend un fil sans fin, on peut produire un courant qui circule autour du circuit sans ajouter aucune électricité à celle qui était primitivement dans le fil. Autant que l'on peut en juger, l'électricité qui est sous forme de courant, provient de celle qui était en repos dans le fil. Quelle que soit la différence qui existe entre ces deux électricités, sous

le rapport de leur mode d'action, on est porté à croire que lorsqu'un courant agit par induction sur la matière conductrice placée latéralement, il agit probablement sur l'électricité de cette matière, qu'elle soit en mouvement ou en repos, augmentant dans un cas ou diminuant l'intensité du courant suivant sa direction; dans l'autre produisant un courant; mais la somme de l'action inductive est probablement la même dans les deux cas.

1269. Il résulte encore des expériences de M. Faraday, que les effets obtenus avec les hélices, les courants et contre-courants, ainsi que les effets qui sont relatifs à la production des courants latéraux, paraissent indiquer qu'un courant peut produire un effet d'induction plus facilement dans un fil voisin que dans son fil propre; qu'en employant une batterie voltaïque de 50 paires de plaques, au lieu d'une seule paire, les effets ont été les mêmes; qu'ainsi, en établissant le contact comme nous l'avons dit ci-dessus, l'étincelle est très-faible, tandis qu'elle est très-forte et très-brillante lorsqu'on interrompt la communication; que les décharges continuelles ne paraissent pas modifier le phénomène, soit qu'on emploie comme moyen de communication un fil court ou le plus puissant aimant électrique.

CHAPITRE III.

FFETS PHYSIOLOGIQUES PRODUITS PAR DES COURANTS INTERROMPUS.

1270. M. Masson, professeur de physique au collége de Caen, a étudié plus complétement qu'on ne l'avait fait encore, les effets physiologiques des secousses fréquemment répétées. Ce physicien s'est servi à cet effet d'une roue dentée, d'un rayon assez grand, à laquelle on imprime un mouvement de rotation à l'aide de la corde sans fin d'un rouet. Cette roue est métallique, ainsi que son axe, ses tourillons et les coussinets sur lesquels ils reposent. L'un des coussinets communique avec l'un des pôles de la pile, l'autre avec une main de la personne soumise à l'expérience. De l'autre main on saisit fortement l'un des bouts d'une hélice enroulée sur un cylindre de fer doux, et en communication par l'autre bout avec le second pôle de l'appareil voltaïque. D'après cette disposition, le circuit est formé de l'appareil voltaïque, de l'hélice, du corps de l'expérimentateur et de l'axe de la roue dentée. Le courant ne s'y manifeste pas quand l'hélice est composée de 4 ou 500 mètres de fil; il n'en est plus de même quand le corps humain cesse de faire partie du circuit, c'est-à-dire lorsque celui-ci est tout métallique. Cette condition est remplie quand le premier bout de l'hélice que l'expérimentateur tient à poignée est terminé par une lame de ressort aplati qui, maintenue à sa naissance par un appui fixe, va presser

par son extrémité libre une dent de la roue de métal. Aussitôt que la roue commence à tourner, ce circuit, qui est tout métallique, se trouve interrompu à l'instant où la dent pressée échappe au ressort qui la touche; alors le premier circuit, celui dont l'expérimentateur fait partie, subsiste seul et donne naissance à une vive secousse. La roue continuant à tourner, une nouvelle dent vient toucher le ressort, et à l'instant où elle s'échappe, on éprouve une secousse aussi vive que la première fois. On conçoit parfaitement que la roue tournant d'une manière uniforme, le même phénomène se reproduit d'une manière périodique au passage de chaque dent.

Toutes les fois que le mouvement de la roue est peu rapide et que les contacts des dents avec le ressort se succèdent lentement, on éprouve de très-vives secousses. Quand le mouvement est suffisamment accéléré, la sensation devient continue et se change en une contraction douloureuse, en une torsion des bras qui ne permet pas à l'expérimentateur d'abandonner les conducteurs métalliques.

On est parvenu à tuer un chat, en 4 ou 5 minutes, en le soumettant aux décharges rapidement répétées d'une pile composée de quelques éléments seulement; les muscles de l'animal se trouvaient alors dans un état tétanique qui se manifeste toujours quand les effets électriques sont exaltés.

M. Masson a reconnu que, si le mouvement de la roue est très-rapide, la sensation diminue par degrés et finit par disparaître entièrement; dans ce cas les choses se passent comme si le circuit était métallique, c'est-à-dire, comme s'il n'était pas interrompu.

CHAPITRE IV.

PROCÉDÉ POUR RECONNAITRE S'IL Y A SOLUTION OU COMBINAISON CHIMIQUE DANS LE CONTACT D'UN SEL ET DE L'EAU, ET DESCRIPTION DE L'HYGROMÈTRE THERMO-ÉLECTRIQUE.

1271. M. PELTIER, pour résoudre cette question, qui avait déjà été abordée par nous (29, etc.), emploie les courants électriques produits dans les réactions chimiques et les changements de température.

On sait que lorsque les acides se combinent avec les alcalis, les effets électriques sont tels, en général, que l'électricité positive va de l'alcali à l'acide, et l'électricité négative de l'acide à l'alcali.

Il en est de même dans la combinaison de deux corps, celui qui joue le role d'acide prenant en général à l'autre l'électricité positive. Quand il y a simplement solution, on n'observe rien de semblable, comme nous l'avons prouvé il y a quatorze ans. Pour reconnaître s'il y a combinaison ou solution, au moyen des effets électriques, on opère de la manière suivante :

On attache deux capsules en platine aux extrémités du fil d'un multiplicateur de 3,000 tours, puis on établit la communication entre elles au moyen d'une mèche d'asbeste, d'un siphon en verre, ou bien en les rapprochant suffisamment pour qu'il n'y ait entre elles qu'un intervalle capillaire, qu'on remplit avec une goutte d'eau. Dans l'une des capsules on verse de l'eau distillée, et dans l'autre la solution qu'on veut examiner; si le corps

est solide et qu'on veuille reconnaître ce qui se passe au moment même de la désagrégation des particules, on remplace une des capsules par une pince en platine, entre les branches de laquelle on place ce corps, dont on plonge une partie dans l'eau de l'autre capsule. Les courants électriques indiquent alors s'il y a combinaison ou non; mais comme il y a en même temps élévation ou abaissement de température, M. Peltier a mis à profit ces effets pour décider l'alternative.

1272. Pour mesurer la température, ce physicien fait usage d'un appareil qui, en raison de sa grande sensibilité, remplit les fonctions d'un bon hygromètre. Il se compose d'un support de plusieurs couples thermo-électriques bismuth et antimoine, dont le nombre est au moins de trois, afin de former un trépied, dont les extrémités supérieures touchent la capsule qu'on pose dessus. On peut augmenter ce nombre jusqu'à huit ou dix; mais la difficulté de mettre en contact immédiat chacun des couples avec la capsule, en rend l'exécution très-difficile; la capsule elle-même n'étant pas bien sphérique, laisse des intervalles entre sa paroi extérieure et certains couples qui, alors n'étant plus actifs, ne font plus qu'altérer la conductibilité du circuit total. Les éléments de ces couples ne se placent pas comme dans les piles ordinaires; ils doivent être mis l'un à côté de l'autre en forme de couronne, afin de faciliter le contact de chacun d'eux avec la capsule. Cette petite pile est en relation avec un multiplicateur dont les proportions varient comme les couples qui la composent. Avec trois couples on emploie un multiplicateur de 38 tours, formé d'un fil de cuivre ayant 2$^{mil.}$,6 de section; pour les piles de cinq couples, un autre de 80 tours d'un fil de moindre diamètre, et enfin de 150 tours pour celles de dix couples. Cette pile, soutenue à quelques centimètres de hauteur par une tige vissée dans un socle, est parfaitement abritée des rayonnements calorifiques des corps voisins et des courants d'air qui pourraient influer inégalement sur la température des soudures. On les entoure de deux tubes en carton ou en ivoire, laissant un vide

d'un centimètre entre la pile et le premier tube, et un pareil vide entre ce tube et le second, chacun d'eux bien clos dans la partie inférieure avec une bande de papier collé; le second tube est fermé à sa partie supérieure par un disque en papier percé d'un trou assez grand pour laisser toucher la pile par la capsule, et en même temps pour clore l'intérieur en circonscrivant la capsule par son milieu. La fig. 10 donne une idée de l'appareil :

A. Disque en bois pour soutenir les couples, et auquel on visse la tige qui le supporte et le fixe au socle.
B, B, B. Trois couples bismuth et antimoine, formant le support thermoscopique.
C. Multiplicateur.
D, D. Capsule en platine remplie d'eau distillée, qui doit être placée sur les couples.
E, E. Cylindre de carton.
F, F. Récipient.

Lorsqu'on veut employer cet appareil comme hygromètre, on recouvre le tout d'un récipient à douille, afin de laisser un libre accès à l'air, tout en interceptant les courants qui augmenteraient l'évaporation en dehors. Ce récipient est lui-même entouré d'une chemise en papier afin d'arrêter les effets du rayonnement. On met de l'eau distillée dans la capsule, et la seule évaporation spontanée produit un abaissement de température qui varie ordinairement de 40 à 60°. Cet hygromètre est fondé sur le même principe que celui de Leslie, c'est-à-dire, sur le refroidissement produit par l'évaporation spontanée d'un liquide. L'eau du vase s'évapore moins dans les temps secs que dans les temps humides, il s'ensuit que les soudures supérieures de la pile sur lesquelles repose la capsule se refroidissent moins dans le premier cas que dans l'autre; l'intensité du courant thermo-électrique peut servir alors à apprécier la différence de l'évaporation.

Ces appareils étant fort sensibles, l'aiguille du multiplicateur arrive rapidement à 90°; pour parer à cet inconvénient, on place dans le circuit des conducteurs supplémentaires qui diminuent l'intensité du courant et ramènent l'aiguille vers les vingt premiers degrés; on forme ensuite des tables qui donnent les rapports entre les déviations de l'aiguille aimantée, les intensités du courant et les différences de température qui leur donnent naissance; on a ainsi une échelle fort étendue, qui peut commencer à 150° au-dessus de zéro, et s'abaisser d'une manière indéfinie. Pour comparer cet instrument, on n'a besoin que de connaître l'extrême sécheresse qu'on produit avec du chlorure de calcium, placé sous un récipient bien clos; quand la saturation de l'air ne produit plus de vaporisation, la capsule reste à la température ambiante et l'aiguille à zéro. Dès lors lorsqu'on a déterminé la force correspondante au nombre de degrés donnés par l'extrême sécheresse, on divise cette force en cent parties correspondantes aux cent degrés des hygromètres ordinaires, et l'on peut ainsi toujours leur comparer les degrés que l'on a trouvés.

L'appareil que nous venons de décrire peut servir avec avantage pour étudier les changements de température qui ont lieu dans les actions chimiques; mais il faut pour cela que la capsule qui repose sur la pile thermo-électrique soit une des deux qui se trouvent dans le circuit électro-chimique précédemment décrit. Au moyen de cet arrangement l'appareil renferme deux multiplicateurs.

Pour savoir s'il y a combinaison ou simplement solution à l'instant où deux liquides, dont l'un est de l'eau distillée, sont en contact, M. Peltier a fait un grand nombre d'expériences, dont les résultats sont consignés dans le tableau qu'on trouvera ci-après : nous rappellerons qu'il y a solution quand il y a production de froid, et combinaison quand il y a dégagement de chaleur.

1273. Pour reconnaître les effets électriques qui se manifestent quand on élève ou qu'on abaisse la température d'un liquide, on verse de l'eau distillée dans les

deux capsules réunies par l'un des trois moyens indiqués plus haut et en relation également avec un multiplicateur électro-chimique, puis on chauffe l'une d'elles. On trouve que pendant tout le temps que la température s'élève, il y a un courant positif marchant de l'eau chaude à l'eau froide, et que pendant le temps que le refroidissement s'opère le courant suit une direction inverse. Cet effet du renversement du courant a lieu avec les alcalis et avec tous les corps qui se comportent comme tels. Les substances, au contraire, qui se comportent comme les acides, ne présentent pas cette inversion dans le sens du courant : l'acide froid joue toujours le rôle d'alcali, et l'acide chaud le rôle d'acide.

Cet effet produit dans la réaction de deux substances homogènes ne différant que par leur température, est-il dû à une combinaison chimique ou à une action thermo-électrique? Pour décider l'alternative, il faut se rappeler que les courants thermo-électriques étant produits par de l'électricité à faible tension et la moindre résistance les affaiblissant, pour constater leur existence il faut employer les multiplicateurs à fils les plus courts. Dans les expériences ci-dessus, les deux capsules remplies d'eau distillée étaient réunies par une mèche d'asbeste humectée de la même eau, et le multiplicateur était composé d'un fil fin de 3,000 tours, ce qui forme un circuit nullement favorable aux courants thermo-électriques : mais pour ne point laisser de doutes sur la cause du phénomène, on a remplacé le long multiplicateur par un autre de 150 tours, et le courant est tombé de 40 à 3°, résultat contraire aux effets thermo-électriques.

Ces effets, et d'autres que nous ne rapporterons pas ici, montrent bien que le phénomène électrique qui a lieu dans le mélange de l'eau chaude avec l'eau froide a bien une origine chimique; mais quelle est la nature de l'action produite dans cette circonstance? C'est ce que nous ignorons.

NOM DES SUBSTANCES.	SENS DU COURANT DIRIGÉ DE L'EAU VERS LA SUBSTANCE.	SOLUBILITÉ ET DILUTION.	TEMPÉRATURE EN DEGRÉS GALVANOMÉTRIQUES.	CLASSIFICATION DES CORPS SOUS LE POINT DE VUE DES DEUX CARACTÈRES PHYSIQUES.
Acide sulfurique	Une seule goutte donne 90° +	Très-grande.	Chaleur maximum. 90°.	— Id.*
Id nitrique.	Cinq gouttes 70° +	Id	Chaleur. 70°.	— Id.
Id. acétique	1/4 d'acide 30° +	Id.	Id 10°.	— Id.
Id. borique	Faible courant. 5° +	Faible	Froid 50°.	— Id.
Proto chlorure d'antimoine.	35° +	Assez soluble.	Chaleur 60°.	— Id.
Nitrate de bismuth	35° +	Très-soluble.	Froid. 50°.	— Id.
Sulfate de cuivre	30° +	Faible.	Id. 10°.	— Id.
Dissolution d'iode	20° +	Id.	0	— Id.
Acetate de plomb	10° +	Très-soluble.	Froid 20°.	— Id.
Sulfate de zinc	5° +	Id.	Id. 60°.	— Id.
Chlorhydrate de strontiane.	10° +	Id.	0	— Id.
Chlorure de plomb	0° à froid 5° + à chaud	Faible	Très-faible froid. 2°.	— Id.
Solution chaude de nitrate d'ammoniaque.	5° +	Très-soluble.	0	— Id.
Sucre ordinaire	5° +	Id.	Froid 10°.	— Id.
Alcool	5° +	Id	Chaleur 40°.	— Id.
Acide sulfo hydrique.	1/3 d'acide 30° —	Très-grande	Id. 5°.	+ Id.**
Id hydro-chlorique.	Id. 30° —	Id.	Id 50°	+ Id.
Id citrique	Extrêmement faible. 2° —	Très-soluble	Froid 40°	+ Id.
Id tartrique	Id.	Faible	Id. 15°.	+ Id.
Id. benzoïque	Id	Id	Id. 5°	+ Id.
Id. oxalique	Id.	Id.	Id 50°	+ Id.
Potasse.	80° —	Très-soluble	Chaleur 70°.	+ Id.
Soude	Id —	Id.	Id. Id	+ Id.
Chaux	30° —	Faible.	Id 70°	+ Id.
Sous-carbonate de potasse.	30° —	Très-soluble.	Froid 70°	+ Id.
Iodure de potassium.	20° —	Id	Id 80°.	+ Id
Nitrate de potasse	10° —	Id.	Id. Id.	+ Id.
Sulfate de potasse	5° —	Faible.	Id. 45°	+ Id.
Oxalate acidule de potasse.	0° à froid 5° — à chaud.	Lent.	0	+ Id.
Chlorhydrate d'ammoniaque.	4° —	Très-soluble	Froid 80°.	+ Id.
Nitrate d'ammoniaque	3° —	Id.	Id 90°	+ Id.
Alun à base d'ammoniaque	4° —	Lentement.	Id 5°	+ Id.
Cyanure de potassium	30° —	Soluble	Id. 30°	+ Id.
Chlorure de sodium hydraté.	30° —	Id.	Id. 60°.	+ Id.

* Corps qui se comportent comme acides.
** Corps qui se compor-

Les résultats consignés dans ce tableau montrent que l'on peut diviser les corps en trois sections : la première comprend les corps qui ne donnent aucun signe, ou des signes faibles d'électricité, soit dans leur désagrégation, soit dans leur dilution : ce sont ceux qui donnent le plus d'abaissement de température, en ayant égard à leur degré de solubilité ; la deuxième, les corps qui donnent des courants suffisants pour avoir une élévation de température qui diminue ou neutralise le refroidissement de leur liquéfaction ; et enfin la troisième renferme les corps dont les courants indiquent une combinaison assez intense pour élever la température du liquide : ainsi le nitrate d'ammoniaque fait partie de la première section ; la solution d'iode et le chlorure de plomb font partie de la seconde ; les acides sulfurique, nitrique..., les alcalis, font partie de la troisième. La seconde et la troisième section peuvent être divisées en deux classes : l'une contenant les corps qui se comportent comme les acides servant de types, et l'autre contenant les corps se comportant comme les alcalis types.

CHAPITRE V.

PROPRIÉTÉS GÉNÉRALES DES COURANTS MAGNÉTO-ÉLECTRIQUES.

1274. M. Auguste Delarive vient récemment de publier des recherches intéressantes sur les propriétés des courants magnéto-électriques. Il a commencé d'abord par étudier l'influence qu'exerce sur l'intensité de leurs effets la vitesse plus ou moins grande avec laquelle ils se succèdent. Il a trouvé que lorsqu'on introduit dans le circuit un thermomètre métallique convenablement disposé, le thermomètre de Breguet, l'hélice s'échauffe de 7°, quand il n'y a que deux courants alternativement contraires par seconde, qu'elle s'échauffe de 55° quand il y a neuf courants, de 100° quand il y en a 20, de 133 quand il y en a 40, et que l'on finit par faire rougir un fil fin de platine quand on augmente suffisamment le nombre de courants.

1275. Les effets chimiques sont soumis à la même influence; mais si l'on dépasse une certaine limite, la décomposition se ralentit. M. Delarive a trouvé, par exemple, que pour obtenir la même quantité de gaz dans la décomposition de l'eau, il faut :

1050 courants quand il y en a	14 par seconde.
462	28
442	42
400	47
494	52

Ces nombres nous indiquent que l'influence de la vitesse avec laquelle les courants se succèdent, ne consiste pas seulement en ce qu'il y a un plus grand nombre de courants dans un temps donné, mais surtout en ce que l'intensité individuelle de chaque courant éprouve une augmentation considérable. C'est principalement dans les effets physiologiques que l'on observe l'influence de la vitesse dans la succession des courants. Ces effets sont beaucoup plus énergiques que ceux qui sont produits par les courants voltaïques, et dépendent très-probablement de la discontinuité et de la direction alternativement contraire des courants.

Quand on fait passer les courants magnéto-électriques dans des conducteurs métalliques et liquides, on trouve que la résistance que ces courants éprouvent, quand on augmente la longueur du circuit, quelle que soit leur nature, est considérable et bien plus grande que celle qu'éprouvent les autres espèces de courants. Il n'en est plus de même si le conducteur est hétérogène : la résistance paraît au contraire moindre. De l'eau acidulée conduit les courants qui nous occupent tout aussi bien lorsqu'elle est partagée en deux ou plusieurs compartiments par des diaphragmes de platine, que lorsqu'elle forme une masse continue.

M. Delarive, en étudiant l'influence qu'exercent sur les courants magnéto-électriques l'étendue et la forme du conducteur métallique qui sert à transmettre ces courants dans le liquide, a trouvé que les gaz qui se développent avec abondance, lorsque les conducteurs métalliques sont des lames étroites ou de simples fils, ne se dégagent que peu ou point quand ces conducteurs, toutes choses égales d'ailleurs, sont des lames dont la surface présente une étendue un peu considérable de 4 à 8 centimètres carrés au moins. Il s'est servi pour cela de solutions acides à différents degrés de concentration, de fils et de lames de platine : il avait placé le thermomètre métallique dans le circuit. A mesure qu'on enfonçait la lame dans le liquide, le dégagement de gaz diminuait,

tandis qu'avec un fil la quantité de gaz augmentait ainsi que la température dans l'hélice. Dès l'instant que la lame en contact avec l'acide sulfurique, étendu de neuf fois son volume d'eau, était de 450 millimètres carrés, il n'y avait plus aucun dégagement de gaz : on avait alors atteint la limite d'accroissement dans l'intensité du courant transmis, de sorte qu'il n'y avait plus ni chaleur dans l'hélice, ni dégagement de gaz quand on enfonçait la lame.

Avec un liquide plus conducteur, et avec des lames de platine d'une plus grande surface, on élevait la température de l'hélice à 93°, sans qu'on pût observer la moindre décomposition dans l'eau acidulée.

Ces résultats semblent indiquer que les effets chimiques et les effets calorifiques des courants magnéto-électriques n'ont lieu qu'autant que ces courants sont gênés dans leur passage, et là où ils éprouvent cette gêne.

Il n'en est pas de même avec les courants voltaïques, attendu que la quantité de l'électricité produite dans les piles est si considérable que jamais elle ne peut s'écouler entièrement par les conducteurs qui réunissent leurs pôles. Aussi, lorsque ces conducteurs sont des liquides, quelle que soit l'étendue des surfaces métalliques qui plongent dedans, le courant éprouve toujours une gêne d'où résulte une décomposition chimique.

1276. Un courant magnéto-électrique transmis à travers de l'eau acidulée placée dans le circuit, au moyen de deux grandes lames de platine, élève la température de l'hélice à 82°. Sans rien changer à l'expérience, si l'on réunit les deux lames de platine avec un fil métallique, un fil d'argent *ab* par exemple (fig. 11), cette double voie qui facilite le passage du courant ne change rien à son effet, qui continue à élever de 82° la température de l'hélice du thermomètre. Le fil employé avait un demi-millimètre de diamètre et 45 centimètres de longueur. Si l'on donne une plus grande longueur au fil, la température de l'hélice s'abaisse, et parvient à un minimum de 67° quand le fil a une longueur de 4 mètres. Si l'on allonge

encore davantage le fil, l'hélice se réchauffe de nouveau, et revient à 82° quand on lui a donné une longueur de 12 mètres.

De ces résultats et d'autres analogues, que nous ne rapportons pas, M. Delarive en a tiré les deux principes suivants, 1° qu'un courant dirigé dans le même sens qu'un autre peut ou augmenter ou diminuer l'intensité du second, suivant les rapports qui existent entre les chemins qu'ils ont parcourus l'un et l'autre, quand, en partant de la même source, ils arrivent au même point; 2° que pour produire les mêmes effets sur un courant qui parcourt toujours le même chemin, le chemin parcouru par l'autre doit être d'autant plus long qu'il est plus conducteur. On aperçoit facilement que les phénomènes que nous venons de décrire, s'ils sont bien constatés, seraient de véritables phénomènes d'interférences, qui conduiraient nécessairement à admettre que le courant électrique se propagerait au moyen d'ondulations très-longues, et dont la longueur serait d'autant plus considérable que le milieu, où la propagation a lieu, serait meilleur conducteur.

On n'observe rien de semblable dans les courants voltaïques, parce que les sources d'où ils émanent ont une telle intensité que, si l'on ajoute un second conducteur, au lieu de déterminer la répartition de la même quantité d'électricité entre ce conducteur et le premier, il s'écoule alors une plus grande quantité de cet agent.

M. Delarive a observé des phénomènes particuliers sur les surfaces des métaux qui transmettent les courants magnéto-électriques dans un liquide conducteur. Si l'on soumet à l'expérience de l'eau acidulée et que les courants y entrent à l'aide de deux fils de platine, le dégagement de gaz qui avait d'abord été considérable, diminue et cesse ensuite tout à fait. Les courants cependant n'ont point perdu de leur intensité, comme on peut le voir par les effets produits sur le thermomètre métallique. Les fils de platine, dans ce cas, se recouvrent d'une couche noire épaisse de platine métallique très-divisé, qui pos-

sède la faculté de déterminer la combinaison des gaz quand on introduit le fil qui en est recouvert dans un mélange explosif. L'or et le palladium présentent des effets absolument semblables, mais plus rapidement encore. Il en est de même des métaux qui sont attaqués par les solutions, tels que l'argent, le cuivre et le plomb. L'hydrogène et l'oxigène recueillis étaient dans les proportions voulues pour former de l'eau. Ce résultat prouve bien que la poudre métallique déposée sur les fils n'était pas mélangée d'oxide.

A mesure que le volume des gaz dégagés diminue, la température de l'hélice introduite dans le circuit s'élève et atteint son maximum dès qu'il ne se dégage plus de gaz. C'est alors que le courant atteint son maximum d'intensité.

M. Delarive, qui a cherché à analyser les effets que nous venons d'indiquer, s'est demandé si l'absence de réaction chimique qui a lieu quand les fils sont recouverts d'une couche de métal très-divisée, ou bien lorsqu'on fait usage de lames de grande surface, provient ou de ce qu'il n'y a pas réellement de décomposition, ou bien de ce que l'oxigène et l'hydrogène provenant de la décomposition, arrivant presqu'en même temps sur les surfaces métalliques, se recombinent par leur influence. Sans décider la question, il pense que plusieurs faits qu'il a observés semblent appuyer la seconde opinion, qui cependant ne peut être applicable aux lames.

Relativement au dépôt d'une poussière métallique sur les fils en lames qui transmettent le courant, il se demande si cet effet ne doit pas être attribué à ce que l'oxigène et l'hydrogène se dégageant alternativement sur la surface des métaux, ceux-ci éprouvent une succession tellement multipliée d'oxidations et de réductions qu'il doit en résulter une désagrégation totale du métal.

—

CHAPITRE VI.

DU POUVOIR CONDUCTEUR DES CORPS POUR L'ÉLECTRICITÉ, ET DE LA MESURE DE L'INTENSITÉ DES COURANTS.

§ I[er]. *Du pouvoir conducteur des métaux et des liquides pour l'électricité émanant d'une source quelconque.*

1277. Nous nous sommes déjà occupé, dans cet ouvrage (1), du pouvoir conducteur des métaux pour le fluide électrique; mais depuis la publication des deux premiers volumes, M. Pouillet ayant fait de nouvelles recherches sur le même sujet, qui avait attiré également l'attention de Ohm il y a dix ans (2), nous allons faire connaître les principaux résultats auxquels ces deux physiciens sont parvenus; l'ensemble des faits est présenté d'une manière si analytique par M. Pouillet, que nous avons cru devoir faire un chapitre à part de son travail.

Davy est le premier qui ait annoncé que le pouvoir conducteur des fils ou barres de métal est en raison inverse de leur longueur et en raison directe de leur section; mais il a plutôt entrevu cette loi qu'il ne l'a

(1) Tome III, page 75.
(2) Journ. de Schweier, 2[e] série, t. XIV, etc.

démontrée. Nous en prouvâmes immédiatement après l'exactitude dans des portions détachées d'un circuit voltaïque; la marche que nous avons suivie pour cela est à l'abri de toute objection.

MM. Ohm et Pouillet ont envisagé la question d'une manière plus générale; ils ont déterminé le pouvoir conducteur dans un circuit complet, parcouru par de l'électricité émanant d'une source quelconque, la source faisant partie elle-même du circuit; leurs recherches ont montré qu'une source thermo-électrique restant la même, l'intensité du courant qu'elle produit est en raison directe de la section et de la conductibilité du fil de métal qui forme ce circuit et en raison inverse de la longueur du fil, la résistance de la source étant exprimée en fonction d'une certaine longueur du fil. La loi est donc la même que pour une portion du circuit.

Rien n'est plus facile que d'établir les formules qui représentent cette loi dans des circuits homogènes, ensuite dans des circuits hétérogènes.

Supposons que l'on présente successivement à une même source thermo-électrique deux circuits différents, dont le premier a une longueur A, une section S, et une conductibilité C; l'autre, ayant une longueur L', une section S', et une conductibilité C', et que l'on désigne par T l'intensité du courant qui se développe dans le premier circuit, et par X celle du courant qui se développe dans le second, on aura

$$X = T \frac{S'}{S} \cdot \frac{C'}{C} \cdot \frac{L}{L'}.$$

Si l'on veut avoir l'intensité du courant produit par une source thermo-électrique quelconque, lorsque le circuit est composé de divers conducteurs, de longueur, de section et de conductibilité différentes, on peut très-facilement établir les formules des intensités. Considérons d'abord deux circuits différents, l'un homogène, ayant une longueur L, une section S, et une conduc-

tibilité C; l'autre hétérogène, composé de diverses parties successives ayant des longueurs, des sections et des conductibilités différentes. Si l'on prend pour unité de longueur L, et pour unité d'intensité E, on aura en désignant par l'', l''', c'', e''', s'', s''', les parties correspondantes à L, C et S,

$$X = \frac{1}{\frac{l''}{s''\,c''} + \frac{l'''}{s'''\,c''} + \text{, etc.}}$$

L'exactitude de ces formules a été vérifiée par l'expérience.

1278. M. Pouillet a cherché les lois des intensités dans des circuits complexes, par des dérivations simples, afin d'expliquer une foule de faits qui embarrassent quelquefois les physiciens quand ils ne soumettent pas au calcul les résultats de l'expérience.

Prenons un élément bismuth et cuivre (fig. 12), dont les soudures r et r' ne possèdent pas la même température, ayant un fil adjonctif de cuivre $a'\,a\,c\,b\,b'$, et un autre $a\,d\,b$; le courant produit par l'élément se partage en deux : une portion suit le circuit $a'acbb'$, une autre le circuit $a\,d\,b$. Le courant qui existait avant que le fil $a\,d\,b$ fût ajouté, est le courant primitif, le courant partiel est la portion du courant qui passe par l'ancien fil, entre les points de dérivation a et b, et le courant dérivé est celui qui suit la dérivation $a\,d\,b$. Le courant principal est le courant qui passe dans le circuit quand la dérivation est faite. La loi des intensités permet d'établir l'intensité de tous ces courants.

En appelant T l'intensité du courant primitif;
X du courant principal;
Y du courant partiel;
R du courant dérivé;
L la longueur totale du circuit;

nl la distance des points a et b; knl la longueur entière du fil de dérivation adb, ce qui signifie que cette longueur est égale à k fois l'intervalle de dérivation nl; $\frac{s}{p}$ la section du fil de dérivation adb, s la section du fil ab, on en déduit facilement

$$X = \frac{T(pk + 1)}{pk + 1 - n}$$

$$Y = \frac{T.pk}{pk + 1 - n}$$

$$Z = \frac{T\,1}{pk + 1 - n}.$$

Rien n'est plus simple que d'étendre ces formules aux dérivations multiples.

Ces formules ont été vérifiées, comme les précédentes, par l'expérience, et ont mis à même M. Pouillet de constater les propriétés suivantes des courants thermo-électriques.

Dans un courant thermo-électrique parcourant des fils de différentes sections, la force élémentaire est la même dans tous les points; comme du reste on le savait déjà. Lorsqu'on prend des intervalles égaux sur différents fils, les courants dérivés que l'on en tire ont des intensités différentes, qui sont à peu près en raison inverse des sections des fils dans l'intervalle de dérivation; si les fils sont hétérogènes, il faut avoir égard, non-seulement aux sections, mais encore à la conductibilité.

1279. Après avoir déterminé par le calcul les lois relatives aux phénomènes d'intensité des courants thermo-électriques dans des éléments simples, M. Pouillet a résolu les mêmes questions pour les piles formées de la réunion d'un certain nombre de paires, et dont plusieurs avaient été également traitées, avant lui, par Ohm. Voici

la disposition de son appareil : Il prend 8 éléments bismuth et cuivre ; les quatre éléments bismuth ont la forme (fig. 13), et des dimensions parfaitement semblables ; les quatre éléments en cuivre sont des lames de 25 millimètres de largeur, de 3 millimètres d'épaisseur, et ont la forme même figure, afin que les extrémites du bismuth puissent être soudées facilement sur les appendices *a* et *a'*. Des éléments sont disposés à la suite l'un de l'autre, de manière à former un rectangle dont les grands côtés ont trois éléments et les petits un seul (fig. 14). Le bismuth forme les petits côtés. Les éléments sont portés sur une planche horizontale munie de trous convenablement placés, et par lesquels passent les appendices verticaux des différents éléments. Quant à leurs portions horizontales, elles sont incrustées dans l'intérieur de la planche. Quand on opère, les grands côtés de la pile sont placés perpendiculairement au méridien magnétique. Une petite aiguille aimantée rectangulaire, de deux centimètres de longueur, d'un centimètre de largeur et de deux millimètres d'épaisseur, est suspendue par un fil de soie au dessus de l'un des éléments cuivre, de manière que son centre tombe au milieu de la largeur de cet élément, et que son côté le plus bas en soit éloigné seulement de quelques millimètres. L'aiguille avec son support (fig. 15) sont placés sous une cloche de verre Avec un compteur, on évalue exactement la durée de vingt oscillations doubles de l'aiguille pendant que toutes les soudures sont à la même température ; puis l'on compte la durée du même nombre d'oscillations lorsque l'on chauffe un certain nombre de soudures. On tourne l'appareil de manière que l'action du courant sur l'aiguille s'ajoute toujours à celle de la terre.

§ I^er^. *Résultats d'une expérience.*

Au départ, toutes les soudures sont à 18 degrés.

	Durée de 20 oscillations doubles.
Aucune soudure n'étant refroidie.....	42″
On met à zéro la soudure n° 1......	38 8
id. *id.* les soudures n^{os} 1. 3...	36
id. *id.* *id.* n^{os} 1. 3. 5.	34
id. *id.* *id.* n^{os} 1. 3. 5.	32

Si l'on désigne par M la force magnétique que la terre exerce sur l'aiguille, par M′ celle qu'exerce le courant et par T et T′ les durées d'un même nombre d'oscillations exécutées sous l'influence de la force magnétique de la terre seule et sous l'influence de cette force et du courant, on a

$$\frac{M}{M} = \frac{T^2 - T'^2}{T'^2},$$

Si l'on prend pour unité la force magnétique de la terre, on en déduit

SOUDURES A ZÉRO.	INTENSITÉS TOTALES.	INTENSITÉS pour UN ÉLÉMENT.
N° 1	0,173	0,173
N^{os} 1.3	0,361	0,180
N^{os} 1.3.5	0,525	0,175
N^{os} 1.3.5.7	0,722	0,181

On voit que l'intensité du courant thermo-électrique est proportionnelle au nombre de courants qui sont en activité, comme Œrstedt et Fourier, d'une part, et nous de l'autre, l'avons trouvé il y a plus de quinze ans.

Les formules relatives aux courants dérivés dans les circuits simples s'appliquent aux courants dérivés ob-

tenus dans un courant produit par une pile thermo-électrique d'un nombre quelconque d'éléments.

1280. M. Pouillet a étudié ensuite cette question : Lorsque plusieurs courants électriques se propagent dans l'intérieur des corps en général, chacun d'eux se propage-t-il comme s'il était seul ? Il a trouvé que dans un seul couple thermo-électrique dont les deux soudures ont la même température, supérieure à celle du milieu ambiant, il n'y a ni repos ni équilibre électrique, mais mouvement et propagation de deux courants égaux et opposés. Cette indépendance des courants avait déjà été établie par nous (1) sous une autre forme : « Dans un circuit « fer et cuivre, lorsqu'on élève chacune des soudures à « une température différente, l'intensité du courant est « égale à la différence des intensités du courant produit « successivement par chacune de ces températures, l'autre « soudure étant à zéro, et non, comme on aurait pu le « croire, à l'intensité du courant qui résulte d'une dif- « férence seule de température. » Cela n'a lieu bien entendu que pour des températures supérieures à 100°, attendu qu'au-dessous de ces températures, si l'on chauffe inégalement les soudures, l'intensité est proportionnelle à la différence de température.

M. Pouillet a envisagé la question d'une manière plus générale : voici comment il l'a traitée : Soit (fig. 14) une pile formée de 8 éléments. Toutes les soudures possédaient la même température. Il a joint par un fil de cuivre vv' les deux éléments cuivre fe et cd. S'il y a quatre courants dirigés dans un sens et quatre courants dirigés en sens contraire, le fil vv' sera parcouru par huit courants ; les courants ayant leur origine en a,c,d, et g, et allant de v en v', et les quatre autres ayant leur origine en b, e, f, h allant de v' en v, il ne se produit alors aucun effet apparent ; mais si l'on vient à chauffer deux soudures consécutives, sous cette double condition, il

(1) Tome II, page 48.

n'y aura pas de courant dans la pile, tandis qu'il y en aura dans le fil vv'.

Pour que la première condition soit remplie, il suffit de chauffer et de refroidir au même degré une soudure paire et une impaire, ou *vice versâ*, ce qui donne des combinaisons différentes, savoir :

La soudure n°	avec les n^{os}	donne	
1	2.4.6.8.	4	combinaisons.
2	3.5.7.	3	
3	4.6.8.	3	
4	5.7.	2	
5	6.8.	2	
6	7.	1	
7	8.	1	
	Total..	16	combinaisons.

Pour que la seconde condition soit remplie, il faut remarquer que les courants qui vont de v en v' proviennent des soudures 1.3.4.7, et que les courants contraires proviennent des soudures 2.5.6.8. Sur les 16 combinaisons qui remplissent la première condition, il n'y en a donc que 6 qui remplissent la seconde, savoir : la soudure 4 avec les soudures 1.3.7, et la soudure 5 avec les soudures 2.6.8. L'expérience montre en effet que si l'on produit ces six combinaisons, soit par échauffement, soit par refroidissement, on obtient toujours des courants sur le fil vv'.

La théorie des courants dérivés permet d'analyser toutes les circonstances de l'expérience et d'évaluer numériquement les intensités des courants dans un grand nombre de cas.

§ II. *De l'intensité des courants électro-chimiques provenant d'un seul élément ou d'une pile à grande et petite tension.*

1281. M. Pouillet a appliqué aux courants hydro-

électriques la méthode d'investigation qu'il a employée pour les courants thermo-électriques. La source d'électricité devant faire partie du circuit, il a dû se procurer une source constante, ce que n'a pas fait Ohm, afin d'être à l'abri des variations qui auraient empêché d'apercevoir la loi à laquelle sont soumises les intensités.

Il s'est servi à cet effet d'un appareil de construction anglaise, dont le principe a été découvert par nous (1). L'élément de cette pile (fig. 16) se compose d'un cylindre de cuivre rouge, d'un autre de zinc fendu latéralement, d'un diamètre plus grand et d'une hauteur moindre, puis d'un vase de verre destiné à recevoir le système des deux cylindres. Le cylindre de cuivre est revêtu d'une vessie qui vient se lier vers sa base supérieure; mais, au-dessous de la ligature et au-dessus de cette base on a pratiqué 5 ou 6 ouvertures par lesquelles le liquide versé sur le cylindre peut s'écouler pour venir remplir tout l'espace compris entre la membrane de la vessie et la paroi latérale du cylindre. Le cylindre de cuivre, ainsi disposé, est placé dans le cylindre de zinc, et l'un et l'autre dans le vase de verre. On verse dans celui-ci une solution de sel ou de sulfate de zinc, et dans la vessie une solution plus ou moins saturée de sulfate de cuivre.

Pour empêcher l'affaiblissement du courant qui résulte de la réaction des deux liquides l'un sur l'autre, on jette sur la base supérieure du cuivre des morceaux de sulfate de cuivre qui se dissolvent dans l'excès de liquide qui couvre cette base. De cette manière, la dissolution intérieure conserve à peu près la même saturation. La force de cet appareil est constante pendant 2 ou 3 heures.

1282. M. Pouillet mesure l'intensité des courants au moyen de deux boussoles; l'une qu'il appelle boussole des tangentes et l'autre boussole des sinus, dont s'est

---

(1) Annal. de Ch. et de Phys., t. XLI, p. 20.

servi, il y a plusieurs années, M. Delarive. Il emploie la première quand il s'agit de courants très-énergiques, et la boussole des sinus quand il observe des courants plus faibles. La boussole des tangentes (fig. 17) est composée d'un grand cercle de 4 à 5 décimètres de diamètre, formé par un ruban de cuivre de 20 millimètres de longueur et de 2 décimètres d'épaisseur. Le ruban est revêtu de soie, et ses extrémités, repliées convenablement, viennent plonger chacune dans un godet contenant du mercure. Le cercle du courant est disposé verticalement sur un autre cercle divisé horizontal, que parcourt une aiguille de boussole suspendue à des fils de soie dans l'intérieur d'une cloche. Le centre de l'aiguille est le même que celui du cercle du courant. Quand la longueur de l'aiguille est petite par rapport aux rayons du cercle, l'intensité du courant est mesurée par la tangente de la déviation.

La boussole des sinus (fig. 18) se compose d'un rectangle formé par un ruban de cuivre rouge, dans l'intérieur duquel, et vers son milieu, se trouve une aiguille aimantée qui se meut sur un pivot. Ce rectangle est adapté sur une alidade qui se meut sur un cercle divisé de telle sorte que le pivot de l'aiguille se trouve toujours dans l'axe de rotation. Les deux extrémités de ce ruban de cuivre sont disposées de manière à communiquer avec la source d'où émane le courant. Quand on veut se servir de ce dernier appareil, on place le rectangle dans le plan du méridien magnétique; et quand le courant produit une déviation de l'aiguille, on fait mouvoir le rectangle d'une certaine quantité pour le ramener dans le plan vertical de l'aiguille. Quand toutes ces conditions sont remplies, il est facile de prouver que l'intensité du courant est proportionnelle au sinus de la déviation.

1283. On a d'abord opéré avec un élément A, produisant sur la boussole des tangentes des déviations comprises entre 50 et 74 degrés, et dont les forces variaient à peu près comme 1 est à 2.

On a pris diverses longueurs d'un même fil depuis 1

jusqu'à 16 mètres. Chaque longueur a été enroulée sur elle-même et enfermée dans une petite boîte, de manière à ne laisser en dehors que les deux extrémités qui devaient être plongées dans le mercure. On a ajouté successivement au circuit, ou à la longueur de l'élément, diverses longueurs du fil depuis zéro jusqu'à 16 mètres. Les tangentes de déviations de l'aiguille aimantée dans chaque cas, indiquent que lorsqu'on tient compte de la longueur de l'élément lui-même, ou du moins de la résistance qu'il oppose à la circulation du courant, les intensités du courant restent constamment les mêmes pour des longueurs x, $x+1$, $x+2$, $x+3$; x représentant le circuit primitif.

Pour déterminer la valeur de x, il faut admettre un instant la loi de la conductibilité électrique, telle qu'elle a été reconnue pour les sources thermo-électriques.

En évaluant alors la résistance de l'élément en fonction d'une longueur du fil soumis à l'expérience, on trouve encore que l'intensité du courant qui passe dans un circuit hydro-électrique est en raison inverse de la longueur du circuit, et en raison directe de la section, quels que soient la nature, les diamètres et les longueurs des fils, jusqu'à cent mètres.

L'intensité du courant étant proportionnelle à la conductibilité, il en résulte que la résistance de l'élément peut être exprimée par des longueurs de fil qui sont également proportionnelles à la conductibilité. On en déduit alors une formule de l'intensité du courant, dans laquelle se trouvent la conductibilité du circuit, sa section, sa longueur et la résistance de l'élément pour un circuit dont la conductibilité et la section sont prises pour unité. Cette formule peut être exprimée par

$$\frac{csr + cs}{csr + l};$$

c. représentant la conductibilité du circuit;
s. id. sa section;
l. id. sa longueur;
r. id. la résistance de l'élément pour un circuit dont la conductibilité et la section sont prises pour unité.

Diverses expériences ayant établi que les intensités du courant dérivé sont sensiblement proportionnelles aux distances des points de dérivation, et que l'intensité du même courant est en raison inverse de la section du fil et en raison inverse de sa conductibilité, on peut, en combinant cette loi avec la loi sur l'intensité du courant principal, en déduire les formules générales qui expriment les intensités du courant principal, du courant partiel et du courant dérivé, en tenant compte de la longueur, du diamètre et de la conductibilité des fils.

A l'aide de ces formules, on peut aussi calculer dans tous les cas les intensités des courants qui se ramifient d'une manière quelconque dans autant de conducteurs que l'on voudra, pourvu que l'on connaisse les sections et les conductibilités de ces conducteurs, ainsi que leur position dans le circuit.

1284. Après avoir déterminé les effets produits par un seul élément, M. Pouillet a examiné le cas où l'on emploie des piles à petite ou à grande tension.

Ayant disposé six éléments semblables à celui que nous avons décrit précédemment, il a déterminé d'abord leur intensité et leur résistance individuelles, comme on le voit dans le tableau suivant :

Nos des ÉLÉMENTS.	LONGUEURS ajoutées A L'ÉLÉMENT.	DÉVIATIONS OBSERVÉES.	TANGENTES des INTENSITÉS.	RÉSISTANCES.
1	0	69°,00	2,600	» »
	5	43,20	0,943	2,85
	10	30, »	0,577	2,85
	40	11, »	0,194	3,20
			MOYENNE.	2,97
2	0	66,30	2,300	» »
	5	43, »	0,933	3,41
	10	29,40	0,570	3,35
	40	10,40	0,188	3,55
			MOYENNE.	3,44
3	0	67,40	2,434	» »
	5	42,30	0,916	3,02
	10	29,40	0,570	3,05
	40	10,20	0,182	3,23
			MOYENNE	3,10
4	0	67, »	2,355	» »
	5	42,30	0,909	3,19
	10	29,40	0,570	3,19
	40	10,20	0,182	3,35
			MOYENNE.	3,25
5	0	68, »	2,475	» »
	5	43,20	0,943	3,08
	10	30,30	0,589	3,13
	40	11, »	0,194	3,40
			MOYENNE.	3,21
6	0	64, »	2,150	» »
	5	41, »	0,869	3,68
	10	28,40	0,548	3,64
	40	10, »	0,176	3,75
			MOYENNE.	3,69

On a disposé ensuite tous les éléments pour en former une pile (fig. 19), et on a fait passer le courant dans un fil de cuivre revêtu de soie, de $0^{mil.},994$ de diamètre, dont on a varié la longueur, et dans la boussole des tangentes; on a obtenu les résultats suivants:

LONGUEURS AJOUTÉES.	DÉVIATIONS OBSERVÉES.	TANGENTES des DÉVIATIONS.	RÉSISTANCES.
0	68°,30′........	2,558.......	» »
5	63,20........	1,991.......	18,20
10	58,30........	1,632.......	19,03
40	39, »	0,810.......	18,01
70	28, »	0,532.......	18,56
100	21,30........	0,394.......	18,38
		MOYENNE...	18,43

Ces résultats montrent que la force de chaque élément est à peu près la même; que l'intensité du courant produit par une pile de six éléments est moindre en apparence que l'intensité du courant produit par l'élément le plus fort, puisque l'élément n° 1 a donné une déviation de 69°,00, tandis que la pile entière n'a produit qu'une déviation de 68°,30; que la résistance d'une pile est beaucoup plus grande que celle de chacun de ses éléments, mais que son intensité est toujours soumise à la loi générale de la raison inverse de la longueur totale du circuit.

Ayant trouvé le rapport qui existe entre l'intensité de la pile et celle de chacun de ses éléments, M. Pouillet a établi la formule générale qui exprime l'intensité d'une pile en fonction de l'intensité individuelle de ses éléments. Les résultats calculés et les résultats observés ont montré un accord satisfaisant.

Si l'on représente par t_1 et r_1 l'intensité et la résistance du premier élément; t_2 et r_2 celles du deuxième élément; t_3 et r_3 celles du troisième élément; quand le courant du premier élément entre dans la pile, il traverse sa propre longueur r et la longueur $r_2 - a$, en représentant par a la longueur de la boussole et des conducteurs communs; il aura à traverser encore la longueur $r_3 - a$ du troisième élément et la longueur l du circuit ajouté. Le courant de l'élément n° 1 traversera une longueur exprimée par $r_1 + r_2 - a + r_3 - a +$ etc. $+ l$
ou par $r_1 + r_2 + r_3 + \ldots r_n - a(n-1) + l$
ou par $\Sigma r - a(n-1) + l$ en désignant par Σr la somme des quantités semblables $r_1 + r_2 \ldots r_n + - r_u$
ou, si pour une longueur r son intensité est t, pour une longueur $\Sigma r - a(n-1) + l$ son intensité sera

$$\frac{r_1\ t_1}{\Sigma r - a(n-1) + l}.$$

L'intensité du 2^e élément aura pour expression

$$\frac{r_2\ t_2}{\Sigma r - a(n-1) + l}.$$

La somme des intensités de tous les éléments de la pile aura pour expression :

$$\frac{\Sigma\, r\, t}{\Sigma r - a(n-1) + l},$$

en désignant par Σrt la somme des produits $r_1\,t_1 + r_2\,t_2 +$, etc. L'exactitude de cette formule a été vérifiée par un grand nombre d'expériences. En discutant tous les résultats obtenus, M. Pouillet a montré que dans les deux cas extrêmes, d'abord dans le cas le plus défavorable, l'intensité de la pile n'est ni plus ni moins grande que celle d'un élément; que dans le cas le plus favorable elle est

proportionnelle au nombre des éléments, et que, dans les cas ordinaires, elle a une valeur intermédiaire et comprise entre ces limites.

D'après ces inductions, la tension de la pile ne serait donc que la faculté de traverser un long circuit sans diminuer trop rapidement d'intensité; et une pile quelconque serait capable d'un effet électro-dynamique constant, qui est rigoureusement égal à la somme des effets électro-dynamiques de tous les éléments, en tenant compte, bien entendu, de la résistance du circuit, c'est-à-dire, de sa conductibilité exprimée en longueur du fil conducteur, résultat auquel Ohm est également parvenu.

1285. M. Pouillet a établi aussi les formules générales d'intensité pour les piles à petite tension, formées de la réunion de plusieurs éléments réunis pôle à pôle.

Considérons deux éléments A et B. Le courant de l'élément A, par exemple, ne peut plus passer directement dans la boussole et dans les longueurs successives de fil qu'on lui présente, car il éprouve, de la part de l'élément B, une dérivation telle, que cet élément B doit être considéré comme un fil d'une longueur égale à sa propre résistance, qui vient faire éprouver au courant primitif de A une dérivation soumise aux lois précédemment établies. La portion du courant de A, qui passe dans la boussole et dans le fil ajouté au circuit, n'est par conséquent qu'un courant partiel, dont l'intensité doit être calculée par la formule générale des courants partiels. Il en est de même de l'élément B par rapport à l'élément A.

Il résulte d'une série d'expériences que nous ne rapportons pas ici, et des formules qui en représentent les effets, que, lorsque l'on réunit plusieurs éléments pôle à pôle, le courant reste soumis à la loi générale d'intensité pour un seul élément et pour une pile composée d'un nombre quelconque d'éléments, c'est-à-dire, que son intensité est également en raison inverse de la longueur du circuit; que si un élément de force quelconque donne un courant qui parcourt un certain circuit, et que l'on

vienne à toucher deux points de ce circuit avec les deux pôles d'un autre élément, le sens du courant étant le même, le courant de ce nouvel élément passe dans le premier circuit, entre les points touchés, de la même manière que si cette portion du circuit se trouvait à l'état naturel. Il résulte de là que les deux courants se superposent et s'ajoutent, de telle sorte que chacun d'eux se propage et se ramifie comme s'il était seul.

§ III. *De la mesure relative des sources thermo-électriques et des sources hydro-électriques.*

1286. M. Pouillet a résolu une question qui ne l'avait pas été jusqu'ici, du moins aussi complétement; c'est celle qui concerne les rapports d'intensité qui existent entre les courants thermo-électriques et les courants hydro-électriques.

Pour comparer les intensités des sources thermo-électriques aux intensités des sources hydro-électriques, ce physicien a employé une méthode dont nous avons fait usage pour la détermination de l'intensité d'un courant dans une portion d'un circuit metallique, laquelle consiste à affaiblir le courant provenant de la dernière source en le faisant passer par un fil de platine d'une longueur suffisante pour que le courant n'ait plus que l'intensité nécessaire pour faire équilibre au courant thermo-électrique, les deux courants produisant le même effet sur une boussole de sinus à multiplicateur.

Dans une de ces expériences, on a dû employer un fil de platine de 180 mètres de longueur, en y comprenant la résistance de la pile déterminée préalablement et la longueur des fils additionnels, et de $\frac{144}{1000}$ de millimètre de diamètre, pour que le courant fourni par une pile à la Wollaston, de 12 paires, fît équilibre au courant produit par un élément bismuth et cuivre dans un circuit de 20 mètres de fil de cuivre de 1 millimètre avec une différence de 42°,3. Au moyen des lois établies, on en a conclu qu'une semblable pile a une intensité qui est

114,000 fois plus grande que l'intensité du courant de l'élément bismuth et cuivre, produit par une différence de température de un degré entre les deux soudures.

A l'aide des formules d'intensité, on voit pourquoi les sources thermo-électriques agissent fortement sur l'aiguille aimantée et produisent à peine des actions chimiques, tandis que le contraire a lieu pour les courants hydro-électriques; car si l'on transmet, par exemple, un courant thermo-électrique dans un liquide quelconque, ce liquide, qui est mauvais conducteur, équivaut à une longueur excessivement grande du circuit primitif, et réduit par conséquent son intensité dans une semblable proportion.

Quant aux sources hydro-électriques, elles sont telles que l'appareil qui les constitue, présente toujours une résistance considérable en raison de l'alternative des liquides et des bons conducteurs, de sorte que le courant, en traversant l'appareil, se trouve déjà affaibli autant que s'il avait déjà traversé une très-grande longueur de fil; il en résulte que si on lui présente un liquide qui soit équivalent, par exemple, à dix mille mètres d'un fil de cuivre de 1 centimètre de diamètre, le courant provenant d'un élément à la Wollaston, ne sera réduit qu'à moitié après avoir traversé ce nouveau circuit. Il se trouve donc alors posséder une grande énergie pour le traverser et opérer des décompositions.

M. Pouillet en cherchant à établir le rapport de conductibilité entre les liquides et les métaux, en prenant pour unité celle du mercure, a commencé par examiner si l'intensité des courants qui parcourent les liquides est, comme pour les métaux, en raison directe de la section, et en raison inverse de la longueur. Il a préparé à cet effet différents systèmes de tubes, composés chacun de deux tubes égaux en tous points, d'une longueur d'environ un demi-mètre pour les tubes à petite section, et d'un diamètre qui variait de 3 à 8 millimètres, et d'une longueur d'un mètre pour les tubes à grande section, dont le diamètre avait depuis 10 jusqu'à 20 millimètres. Il a fait passer

le courant d'une pile de 12 paires par la boussole de sinus, et à travers le liquide contenu, soit dans l'un des tubes, soit dans les deux.

En opérant sur des dissolutions de diverses natures, il a trouvé que l'intensité était rigoureusement en raison directe de la section, et en raison inverse de la conductibilité, comme Fechner l'avait déjà reconnu.

Dans ces expériences, il a négligé la résistance de la pile, ainsi que la longueur du fil de la boussole, parce que ces conducteurs réunis ne formaient, en longueur réduite, qu'une très-faible portion de la longueur du liquide des tubes soumis à l'expérience.

La communication avec le liquide des tubes a toujours été établie avec le métal dont l'oxide se trouvait dans la dissolution. Il a pris le cuivre pour le sulfate de cuivre, le zinc pour le sulfate de zinc, et enfin le platine pour l'eau pure ou acidulée. La loi de l'intensité des courants étant la même pour tous les conducteurs, rien n'a été plus facile que de comparer la conductibilité des liquides à celle des métaux.

Il a déterminé avec une certaine exactitude la conductibilité d'un liquide particulier, afin de s'en servir comme de type à l'égard des autres liquides. Il a pris pour liquide d'épreuve le sulfate de cuivre saturé à la température de 15°, qu'il a mis dans un tube horizontal d'un mètre de long et de 20 millimètres de diamètre. A côté de ce tube, il a disposé un fil de platine de 200 mètres de long et il a fait passer le courant de la pile de 12 éléments par la boussole pyrométrique et le sulfate de cuivre, puis le même courant dans la boussole pyrométrique et le fil de platine, dont on a varié la longueur jusqu'à ce que la déviation ne fût plus que de 22 degrés. Il a trouvé que 132 mètres de fil de platine équivalent exactement à une colonne de sulfate de cuivre de 1 mètre de longueur et de 20 millimètres de diamètre. Pour produire ces effets, il faut que les conductibilités du platine et du sulfate de cuivre soient entre elles comme le rapport inverse des sections

multiplié par le rapport direct des longueurs. En effectuant ce calcul, il a trouvé que la conductibilité du platine est plus de 2 millions et demi de fois plus grande que la conductibilité d'une dissolution de sulfate de cuivre.

Il a comparé ensuite la conductibilité du sulfate de cuivre à celle des autres liquides, au moyen de deux appareils composés chacun de trois tubes cylindriques, d'un demi-mètre de longueur, dont les diamètres sont entre eux comme les nombres 1, 2, 4. Le plus petit est de 3 à 4 millimètres. Ces tubes sont fermés à leur extrémité inférieure par des bouchons de cuivre rouge, qui peuvent s'enlever à volonté; puis à leur extrémité supérieure ils reçoivent de petites tiges pareillement de cuivre, qui peuvent être enfoncées plus ou moins, de manière à faire entrer dans le circuit électrique des colonnes liquides plus ou moins longues, depuis quelques millimètres jusqu'à 50 centimètres. L'un des appareils est rempli d'une dissolution saturée de sulfate de cuivre, pour servir de type aux liquides bons conducteurs, et l'autre contient une dissolution plus ou moins étendue de sulfate de cuivre, pour servir de type aux mauvais conducteurs. Voici quelques-uns des résultats qu'il a obtenus :

Dissolutions.	Conductibilités.
Dissolution saturée	1
Id. étendue de 1 vol. d'eau	0,64
Id. de 2 vol. d'eau	0,44
Id. 4 volumes d'eau	0,31
Id. saturée de sulfate de cuivre	1,00
Id. saturée de sulfate de zinc	0,417
Eau distillée	0,0025
Eau avec $\frac{1}{20000}$ d'acide nitrique	0,015

Dans les résultats que nous venons de rapporter, il n'a pas été tenu compte de la perte d'électricité qui a lieu quand l'électricité passe d'un métal dans un liquide.

CHAPITRE VII.

NOUVEAUX DÉVELOPPEMENTS RELATIFS A LA MANIÈRE D'ÉVALUER L'INTENSITÉ DES COURANTS ÉLECTRIQUES ET LA QUANTITÉ D'ÉLECTRICITÉ QUI EST NÉCESSAIRE POUR DÉCOMPOSER UN GRAMME D'EAU.

1287. On a admis *à priori* que les quantités d'électricité qui constituent les courants, sont proportionnelles aux effets produits. Pour démontrer ce principe, M. Pouillet s'est servi d'une roue dentée (fig. 16) qui a déjà servi à M. Masson pour des expériences du même genre et qui est ainsi construite : les dents a, b, c, sont métalliques et font corps avec elle. Les intervalles a', b', c', sont remplis avec des morceaux de bois ajustés avec soin ; cette roue est portée sur un axe horizontal en métal, auquel on imprime un mouvement de rotation plus ou moins rapide. On peut lui faire faire de 20 à 21 tours pour un seul tour d'une grande roue avec laquelle elle est en rapport. Or, le nombre des dents étant de 60, il s'ensuit qu'il passe 1,300 dents du métal ou 2,600 dents de bois et de métal pour un tour de la grande roue. D'un autre côté, comme on peut faire jusqu'à 3 tours en 1'', il en résulte qu'une dent passe à peu près en $\frac{1}{7000}$ de seconde. L'axe de la roue est mis en communication avec l'un des pôles de la pile, tandis qu'une languette de laiton z, en rapport successivement avec chaque dent, sur laquelle elle appuie légèrement, communique avec l'autre pôle. Le courant ne passe, bien entendu, que lorsque la languette

frotte sur une dent métallique, et est interrompu lorsqu'elle touche l'intervalle en bois. Il est évident que le rapport entre le passage et l'intermittence est égal au rapport qui existe entre l'arc de la dent de métal et l'arc de la dent de bois. Dans la roue, les deux arcs étaient égaux; la durée du passage et celle de l'interruption est donc chacune de $\frac{1}{7000}$ de seconde quand la roue fait 21 tours en une seconde. Si l'on introduit dans le circuit une boussole, dont le multiplicateur est seulement de 2 ou 3 tours, et que l'on observe l'intensité du courant, 1° quand la roue est en repos et que la languette pose sur une dent, 2° lorsqu'on met la roue en mouvement et que l'on augmente la vitesse successivement jusqu'à ce que l'aiguille ne fasse plus que de légères oscillations, on trouve, au moyen des déviations produites, que l'intensité du courant dans ce dernier cas est moitié de ce qu'elle est lorsque la roue est en repos; si l'on continue à augmenter la vitesse de rotation, l'aiguille continue à rester immobile. On se rend compte facilement, au moyen du calcul, des effets mécaniques qui sont produits dans cette expérience.

Représentons par F l'intensité de l'action magnétique de la terre sur l'aiguille; par φ l'intensité du courant, et par D la déviation observée pendant le repos,

$$\text{on a } \varphi = \text{F} \sin. \text{D}.$$

Si x représente la déviation de l'aiguille, lorsqu'elle prend sa position d'équilibre pendant le recouvrement, l'action qu'exerce la terre sur l'aiguille sera

$$\text{F} \sin. x.$$

Il est bien évident que cette force qui tend à ramener l'aiguille dans le méridien magnétique, agit d'une manière permanente aussi bien pendant le passage du courant que pendant son intermittence.

En prenant pour unité de temps la durée du passage

d'une dent de métal et d'une dent de bois, elle agit pendant cette unité. D'un autre côté, l'intensité du courant n'agit que pendant qu'il passe, c'est-à-dire pendant un temps $\frac{m}{m+b}$, en représentant par m l'arc de la dent de métal et par b l'arc de la dent de bois. On a deux forces opposées qui doivent se faire équilibre, et par conséquent produire des vitesses égales et contraires dans l'aiguille.

Ces deux forces sont F sin. x, qui agit pendant un temps 1, et F sin. D, qui agit pendant $+\frac{m}{m+b}$.

Or, pendant le court espace qu'elles agissent, les vitesses imprimées étant proportionnelles aux forces et au temps de leur action, on a

$$\text{F sin. } x = \frac{m}{m+b} \cdot \text{F sin. D.}$$

$$\text{Sin. } x = \frac{m+b}{m} \text{ sin. D.}$$

Dans le cas actuel $m = b$,
on a sin. $x = \frac{1}{2}$, sin. D,
comme l'indique l'expérience.

M. Pouillet a cru devoir conclure de là, que par cela même que la quantité d'action d'un courant est, pour des temps très-courts, proportionnelle à sa durée, il faut qu'elle soit aussi proportionnelle à la quantité d'électricité qui passe, attendu que celle-ci est proportionnelle au temps.

Il est bien visible, d'après ce que nous venons d'exposer, que puisque les intensités des courants produits par une source électrique quelconque, sont en raison inverse de la longueur du circuit, il faut que les quantités d'électricité produites par la source soient elles-mêmes en raison inverse de là longueur du circuit, et

en raison directe de la section et de la conductibilité, mais il s'opère tant de recompositions électriques au contact des surfaces agissantes, que la conséquence que nous venons de tirer n'est vraie que dans quelques cas particuliers.

Ces recompositions empêchent aussi que les tensions des électricités dégagées, dans les actions chimiques, soient en rapport avec les affinités qui sont en jeu.

1288. Quoi qu'il en soit, M. Pouillet a cherché la quantité d'électricité qui est nécessaire pour décomposer un gramme d'eau. Il s'est servi à cet effet 1° de la pile cloisonnée, dont nous avons déjà donné la description; 2° d'une grande boussole à sensibilité variable, et d'un appareil de décomposition qui a de l'analogie avec les appareils employés par M. Faraday.

La grande boussole à sensibilité variable est représentée dans la figure 17. Comme elle peut être utile dans d'autres expériences, nous allons en donner la description qu'il en a faite :

« Elle se compose d'un cercle vertical de laiton à « gorge carrée; la circonférence du fond de la gorge est « juste d'un mètre; une aiguille aimantée est posée sur « un pivot, au centre du cercle; un repère, ajusté avec « soin, forme une ligne de foi dans la direction du dia- « mètre horizontal tracé dans le plan vertical qui passe « par le milieu de la largeur de la gorge. Ainsi, quand « l'aiguille est sur la ligne de foi, le plan du courant « est exactement dans le plan du méridien magnétique. « Le cercle à gorge est porté par une alidade qui se « meut autour d'un pivot central, et dont l'extrémité « parcourt un cercle horizontal. Quand le courant passe « et dévie l'aiguille, on fait mouvoir l'alidade pour ra- « mener la ligne de foi dans la direction de l'aiguille, et « l'angle qu'il faut décrire pour cela est précisément « l'angle de déviation. »

Le cercle à gorge sert à enrouler le fil de manière à augmenter ou à diminuer le nombre de tours. Avec cet instrument on voit aisément que l'intensité de l'action

que l'aiguille éprouve est rigoureusement proportionnelle au nombre de tours. Cet appareil a assez de sensibilité pour donner des déviations à cinq minutes de degré près.

Quand on veut opérer, on fait passer le courant dans l'appareil de décomposition et par un fil de cuivre de 30 mètres de longueur, que l'on enroule un certain nombre de tours sur le cercle de la boussole. On marque exactement, avec un compteur, l'instant où la communication est établie, puis celui où l'une des branches du tube renferme deux centimètres cubes d'hydrogène, quand la décomposition est lente, et six ou huit quand elle est rapide : on observe en même temps la déviation de l'aiguille aimantée, pour avoir l'intensité du courant; déviation qui est toujours constante quand le métal qui forme les pôles n'éprouve pas d'action chimique variable. Voici le tableau d'une série d'expériences faites sur la décomposition de l'eau plus ou moins acidulée :

NUMÉROS de l'expérience.	NATURE du liquide.	MÉTAL qui forme les pôles.		NOMBRE de secondes pour obtenir deux centimètres cubes d'hydrogène.	DÉVIATION de l'aiguille de la boussole.	SINUS de la déviation ou intensité.	PRODUIT de l'intensité par le temps
		PÔLE POSITIF.	PÔLE NÉGATIF.				
1	Eau distillée avec acide sulfurique.	Platine ...	Platine ..	498''	5° 50'	0°1016	50°60
2		Idem.	Idem.. ..	510	5 40	0 0987	50 34
3	Liquide précédent étendu d'un volume d'eau distillée.	Idem.. ..	Idem	725	4 »	0 0697	50 53
4		Idem.	Idem..	728	4 »	0 0697	50 74
5		Idem ..	Idem..	919	3 10	0 0552	50 73
6	Eau ordinaire avec acide sulfurique.	Idem .. .	Idem.....	417	6 50	0 1190	49 62
7		Idem .	Idem ..	423	6 45	0 1175	49 70
8		Cuivre. .	Idem ..	251	11 20	0 1965	49 32
9		Idem. .	Idem .	247	11 30	0 1994	49 25
10		Idem... .	Idem . .	247	11 30	0 1994	49 25
11		Zinc... .	Idem .	239	12 »	0 2080	49 71
12		Idem	Idem ...	258	11 »	0 1908	49 22
13		Platine. ...	Idem ...	684	4 10	0 0724	49 50
14	Acide sulfurique étendu.	Idem....	Idem ..	77	40 »	0 6428	49 50

Les résultats consignés dans la septième colonne nous indiquent que le produit du temps par l'intensité du courant est une quantité sensiblement constante; la cinquième et la quatorzième expériences montrent que les courants d'une intensité différente, et dont le rapport s'est élevé jusqu'à 12, produisent des effets chimiques proportionnels à leurs intensités, comme on le savait déjà; nous voyons encore que lorsqu'au pôle positif on substitue au platine du cuivre ou du zinc, toutes les autres circonstances restant les mêmes, le courant prend

une intensité beaucoup plus grande. Le zinc donne une intensité trois fois plus considérable, c'est-à-dire, l'effet est le même que si l'on avait réduit au tiers la longueur du circuit, ou triplé la tension de la force électrique.

M. Pouillet a vu, d'après des expériences, que cet effet n'est pas dû au dégagement d'électricité qui a lieu dans la réaction de l'eau acidulée sur le zinc, mais à une cause qu'il n'a pu découvrir. Nous ferons remarquer encore qu'il ne tient pas compte de la perte d'électricité qui a lieu quand l'électricité change de conducteur. Il est probable que les effets qu'il a observés tenaient à un effet de ce genre.

Le produit de l'intensité par le temps étant une quantité constante, il s'ensuit que la quantité d'électricité qui est nécessaire pour fournir deux centimètres cubes de gaz hydrogène est une quantité constante. Pour l'évaluer en nombre, M. Pouillet a eu besoin de la longueur du circuit et de la tension de la source. Il a trouvé dans l'une de ses expériences, que l'intensité du courant était de 266,5, en prenant pour unité le courant thermo-électrique cuivre et bismuth, avec 20 mètres de fil de cuivre de 1 millimètre, et une différence de temps, de 1° entre les deux soudures, et que la tension de la source qui le produit était de 75828, la tension de la même force thermo-électrique étant prise pour unité.

D'après cela, la quantité d'électricité qui donne 2 cent. cubiques d'hydrogène en 500″, est 266 fois et demie la quantité d'électricité qui passe dans le même temps dans le circuit thermo-électrique, pris pour unité.

Or, dans un gramme d'eau il y a $0^{gr.},1110$ d'hydrogène, qui correspondent à un volume de $1241^{cent. c.},61$.

Donc, pour décomposer un gramme d'eau, il faut une quantité d'électricité représentée par

$$266,5 \times \frac{1241,61}{2} = 165,443.$$

L'unité de temps étant 500″, si l'on prend une minute

et 100° au lieu de 1°, pour la différence de température entre les deux soudures, on aura, pour la quantité d'électricité, 13787.

D'après cela, pour décomposer un gramme d'eau, il faut une quantité d'électricité 13787.

Ce mode d'expérimentation peut être utile dans quelques circonstances, c'est pour ce motif que nous l'avons fait connaître.

CHAPITRE VIII.

COMPARAISON DES INTENSITÉS ÉLECTRIQUES NÉCESSAIRES POUR PRODUIRE LES PLUS FAIBLES ET LES PLUS FORTES COMMOTIONS.

1289. M. POUILLET a commencé par déterminer la conductibilité relative du corps humain, par rapport aux métaux ou aux liquides. Il a fait passer le courant d'une pile par une boussole, puis il entrait par une main et sortait par l'autre; les mains étaient entièrement plongées dans des vases remplis de mercure où aboutissaient les fils de communication. Dans une des expériences, la déviation était de 21°, 30'. Il a substitué ensuite au fil un tube rempli de sulfate de cuivre, de $4^{mill.}$,2 de diamètre. Pour obtenir la même déviation, il a fallu donner à la colonne de liquide une longueur de 488 millimètres; en rapportant la conductibilité à celle du cuivre, on voit que le corps est équivalent à un fil de cuivre de 1 millimètre de diamètre, et de 440,000 mètres, ou 11 lieues de longueur.

Avec un courant de cette force, il ne se produit dans le corps aucun phénomène appréciable. Quand on ne fait que transmettre le courant dans le corps par les extrémités des doigts, au lieu des mains entières, la déviation de l'aiguille aimantée diminue considérablement, et on éprouve alors une commotion très-faible au bout des doigts : c'est la limite inférieure des contractions perceptibles. On voit, d'après cela, comme on le savait

déjà, que la commotion ne dépend pas uniquement de la quantité de l'électricité qui passe, ni de la tension de la source, mais bien de la quantité d'électricité qui passe, dans un temps donné, par chacune des fibres.

Suivant lui, en admettant que la section du bras est 20 ou 30 fois plus grande que la section du doigt, et que ces deux corps soient composés de substances homologues, chaque élément superficiel du doigt sera, pendant le passage du courant, traversé par une quantité 20 ou 30 fois plus grande que l'élément du bras.

C'est là probablement la cause pour laquelle une intensité électrique qui excite dans le doigt une vive commotion, peut traverser le bras sans y produire le moindre effet sensible. Il peut se faire aussi que près des articulations, la partie osseuse étant plus forte et étant moins conductrice, le courant se resserre de manière à faire passer une plus grande quantité d'électricité dans les autres tissus meilleurs conducteurs.

M. Pouillet, en s'appuyant sur les lois de la conductibilité et de la distribution des courants dans les conducteurs complexes et hétérogènes, a expliqué d'une manière satisfaisante les principaux phénomènes que présente la commotion, soit dans ses intensités, soit dans les points qu'elle frappe de préférence.

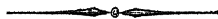
Les lois qu'il a calculées lui ont permis de déterminer la quantité d'électricité qui est nécessaire pour produire une commotion donnée dans un circuit déterminé. C'est ainsi qu'il a trouvé que l'intensité du courant qui donne dans deux doigts de la main la commotion la plus insupportable, est seulement 18 ou 20 fois plus grande que l'intensité du courant qui donne dans les mêmes circonstances la plus faible commotion que l'on puisse percevoir distinctement.

Quand un membre quelconque a reçu pendant quelques secondes la commotion d'un courant continu d'une intensité constante, la douleur devient moins vive, les effets de la commotion sont moins intenses, et l'on éprouve alors dans tout le trajet du courant un malaise

résultant de l'ébranlement qui dure encore après que le courant a cessé.

M. Pouillet a étudié aussi, comme l'avait fait avant lui M. Masson, l'effet des courants intermittents ; il s'est servi à cet effet, comme lui, d'une roue à dents de métal et à dents de bois. Il a trouvé que lorsque la durée des intermittences est d'environ $\frac{1}{300}$ de seconde, il est impossible de distinguer la discontinuité du passage de l'électricité, c'est-à-dire, que l'effet produit est le même que si le courant était continu. Si la durée de l'intermittence est plus grande que $\frac{1}{300}$, on sent plus ou moins d'une manière distincte un temps de repos.

CHAPITRE IX.

DESCRIPTION D'UN APPAREIL POUR MESURER LES EFFETS CALORIFIQUES PRODUITS PAR LE PASSAGE D'UN COURANT DE FAIBLE INTENSITÉ DANS UN CIRCUIT MÉTALLIQUE.

1290. Nous avons fait connaître, dans le troisième volume (443), un moyen très-simple, à l'aide duquel M. Peltier est parvenu à évaluer les effets calorifiques produits dans des circuits métalliques par le passage d'un courant d'une faible intensité. Depuis, ce physicien ayant complété l'appareil dont il s'était servi pour faire ses expériences, nous allons en donner ici la description (fig. 22) :

A, B. Deux couples thermo-électriques en bismuth et antimoine.

C. Fil de cuivre qui unit l'antimoine a' du couple supérieur au bismuth b' du couple inférieur.

D, E. Fils de cuivre communiquant au galvanomètre G de 84 tours, et complétant le circuit entre le bismuth supérieur B'' et l'antimoine inférieur a''.

F, H. Extrémités libres, ou mâchoires formant pince, qu'un ressort applique l'une sur l'autre.

J, K. Barreau d'antimoine a''' et de bismuth b'' qui doit traverser le courant voltaïque.

L, M, m'. Conducteurs de la pile P.

N. Lame de cuivre, avec cercle gradué, surmonté d'une aiguille aimantée O, servant à mesurer la quantité d'électricité qui parcourt le cercle entier *m*, *n*, *m'*, *k*, *b'''*, *a'''*, *j*, L, P. Le galvanomètre G indique celle qui est produite par les variations de température des mâchoires F, H, qui sont la conséquence de celles du barreau J K; le circuit fermé de cette électricité est *a' c b' a''* E G D B'' *a'*.

A'. Boule d'un thermomètre à air, traversée par un barreau mixte de bismuth et d'antimoine, dont la soudure S est au milieu.

C'. Tube capillaire, plongeant dans un vase *d*, plein d'alcool coloré.

E'. Hauteur de la colonne dans le tube. On place derrière une échelle graduée.

F', G'. Conducteurs en cuivre pour recevoir le courant de la pile P.

On voit, par la description que nous venons de donner, que la pince thermo-électrique est une véritable pile thermo-électrique, disposée de manière à pouvoir serrer dans ses extrémités libres le fil conducteur sur lequel on veut opérer. M. Peltier emploie encore dans ses expériences un appareil destiné à mesurer l'intensité du courant qui traverse le fil soumis à l'expérience, afin d'avoir des résultats comparables. Il a d'abord cherché si un courant d'une intensité quelconque élevait toujours la température des conducteurs homogènes; ayant placé à cet effet des fils de métal de diverse nature et n'ayant pas le même diamètre, entre les extrémités de la pince thermo-scopique, il a varié en même temps l'intensité du courant. Il a reconnu que les métaux ductiles donnent une élévation de température, quelque faible que soit le courant; que là où il y a dégagement de chaleur, il existe également, dans toute la longueur des fils, excepté aux extrémités, où elle augmente ou diminue, selon que les points d'attache qui retiennent le fil sont moins bons ou

meilleurs conducteurs que lui. C'est ainsi qu'un fil de zinc, entre des fils de cuivre et de fer de même diamètre, donne sous un courant constant des températures différentes à chacune de ses extrémités.

Nous ne rapportons pas ici les résultats des expériences, puisque nous les avons déjà fait connaître.

CHAPITRE X.

NOUVELLES OBSERVATIONS SUR L'EMPLOI DE L'ÉLECTRICITÉ A FORTE TENSION POUR FORMER DES SUBSTANCES MINÉRALES ET AUTRES.

1291. En terminant la première partie de ce volume, M. Crosse nous a communiqué de nouveaux renseignements sur les résultats qu'il a obtenus dans ses recherches sur la formation des substances minérales, au moyen des courants électriques provenant de piles composées d'un grand nombre d'éléments; nous allons les exposer ici, en raison de l'intérêt qu'ils présentent.

Dans le voisinage de Broomfield se trouve une caverne dont la voûte est en partie revêtue d'arragonite et de carbonate de chaux en très-beaux cristaux; l'eau qui découle de cette voûte tient en solution environ dix grains de carbonate de chaux et une petite quantité de sulfate de même base par pinte. Ayant rempli un verre à boire de cette eau, il l'a soumise, à l'aide de fils de platine, à l'action de deux cents paires de plaques chargées avec de l'eau ordinaire; au bout de dix jours il a aperçu sur le fil négatif des cristaux rhomboïdaux de carbonate de chaux, et sur le fil positif des bulles de gaz Trois ou quatre semaines après, le fil négatif était complétement revêtu d'une croûte de cristaux réguliers et irréguliers de carbonate de chaux. Il est bien évident que le bicarbonate de chaux a été décomposé, sous l'action du

courant, en carbonate qui s'est déposé et en gaz acide carbonique qui s'est dégagé.

L'expérience fut répétée dans l'obscurité, avec une batterie de trente-neuf plaques de deux pouces, le fil négatif ayant été enroulé autour d'un morceau de pierre calcaire. Au bout de six semaines, tout le fil négatif était recouvert de carbonate de chaux cristallisé. L'eau épuisée de carbonate ayant été enlevée et remplacée par d'autre qui en renfermait, et ainsi de suite pendant huit mois, le fil négatif s'est recouvert d'une couche calcaire épaisse et très-rude, dont une partie était aussi blanche que la neige, et l'autre avait une couleur brune qui s'étendait en partie sur la pierre calcaire qu'entourait le fil.

1292. M. Crosse a opéré ensuite d'une autre manière; il a fait tomber de l'eau goutte à goutte pendant plusieurs semaines sur un morceau de brique ordinaire, à travers laquelle il a fait passer, au moyen de fils de platine, le courant de cent paires de plaques de cinq pouces, chargées avec de l'eau. La brique était supportée par un entonnoir de verre qui conduisait l'eau dans une bouteille placée au-dessous.

Après quatre ou cinq mois, la brique était en partie recouverte de carbonate de chaux, plus ou moins cristallisé, et des cristaux prismatiques très-fins d'arragonite étaient déposés sur la partie la plus rapprochée du pôle positif, tandis que le carbonate de chaux ordinaire était confiné du côté négatif.

1293. Le même expérimentateur a fait d'autres expériences avec une batterie de onze grands cylindres de zinc et de cuivre, chacun de neuf pouces de haut et de quatre de diamètre. Il a exposé à son action un morceau de la même brique, qui se trouvait dans un bassin de verre rempli en partie d'acide fluo-silicique, lequel ne recouvrait qu'en partie la brique; il avait pratiqué des petits trous aux extrémités de celle-ci pour y insérer les fils de platine. Peu de temps après, le plomb contenu dans l'acide se déposa au pôle négatif, et, au bout de six semaines, on aperçut des petits cristaux de silice à l'extrémité

de la formation de plomb. Le plomb ayant été enlevé, la silice se déposa au pôle positif, au lieu du pôle négatif. En deux ou trois mois, on aperçut au fond du vase un prisme hexaèdre terminé par une pyramide également hexaèdre et en tout semblable au quartz, mais dont la dureté était telle qu'elle ne lui permettait pas de rayer le verre. Au bout de deux ou trois mois, ce cristal avait perdu de sa transparence, en conservant toutefois sa forme. Un autre cristal qui était placé dans un endroit sec, après ce temps, rayait facilement le verre. Il avait conservé sa transparence et était bien cristallisé. D'où peut donc provenir une différence aussi remarquable entre les propriétés physiques de deux cristaux qui paraissent avoir été formés dans les mêmes circonstances? Pour répondre à cette question il faudrait examiner avec soin leur composition, qui présenterait probablement des différences.

1294. M. Crosse a soumis à l'action d'une batterie de 160 couples de deux pouces une solution de silicate de potasse avec un morceau de brique poreuse placé au milieu du liquide, au-dessus duquel il s'élevait. En trois semaines de temps, le fil positif s'était encroûté de matières siliceuses, et quelques jours après on vit paraître quinze ou seize cristaux hexaèdres qui s'élevaient en dehors de la ligne, entre les deux fils, sur la surface de la brique.

1295. Dans une autre expérience, un morceau de schiste argileux ayant été suspendu par des fils de platine dans une solution de silicate de potasse, il se déposa des masses hexaédriques de silice gélatineuse autour du fil positif qui disparurent et firent place à une formation de calcédoine à l'extrémité positive du schiste argileux. Nous donnons ici la liste des substances minérales que M. Crosse a formées avec des appareils voltaïques à fortes tensions: le carbonate de chaux, l'arragonite, le quartz, le protoxide de cuivre, l'arséniate de cuivre, le carbonate bleu, le carbonate vert, le phosphate de cuivre et le sulfure, le carbonate de plomb, le sulfure d'argent, le carbonate de zinc mamelonné, la calcédoine, l'oxide

d'étain, l'oxide jaune de plomb, les sulfures d'antimoine et de zinc, l'oxide noir de fer mamelonné, le sulfure de fer, le soufre cristallisé. Presque toutes ces substances ont été obtenues par nous, il y a une dizaine d'années, avec des appareils électro-chimiques simples, qui produisent des effets aussi marqués que des appareils composés, convenablement disposés.

CHAPITRE XI.

ACTION DES COURANTS ÉLECTRIQUES D'INTENSITÉ DIFFÉRENTE SUR L'ALBUMINE A L'ÉTAT LIBRE OU A L'ÉTAT DE COMBINAISON.

1296. Nous avons déjà vu (977) comment se comporte l'albumine qui est soumise à l'action des courants. M. Golding-Bird a repris les expériences qui avaient déjà été faites à ce sujet, dans le but d'expliquer les effets divers qui ont été obtenus, et de voir si, comme M. Raspail et d'autres physiciens l'ont annoncé, l'action de l'électricité est le moyen le plus délicat que l'on possède pour reconnaître la présence de l'albumine dans un liquide. Il s'est servi à cet effet de courants électriques n'ayant pas la même intensité, de solutions d'albumine à différents degrés de concentration, et de lames décomposantes de divers métaux. C'est en variant ainsi les expériences qu'il est parvenu à prouver que l'action des courants électriques sur l'albumine est constante.

M. Golding-Bird, pour éviter la chaleur dégagée par le passage de courants électriques d'une tension considérable, a fait usage d'une trentaine de petites plaques (2 pouces et demi en carré), excitées seulement par une faible solution de sel et disposées en couronne de tasse. Il a d'abord opéré sur de l'albumine liquide se trouvant dans un état de non combinaison. Ayant mis dans un vase de verre un peu de sérum de sang dissous, il plon-

gea dedans deux fils de platine en communication avec l'appareil voltaïque; en quelques minutes un dépôt nuageux considérable se montra près de la lame positive, mais sans y adhérer. L'expérience fut répétée dans deux vases contenant la même solution, et unis entre eux au moyen d'asbeste ou de coton; on vit alors une abondante coagulation d'albumine dans le vase positif, tandis que le liquide du vase négatif conservait sa liquidité. Après six heures d'expérience, le liquide positif était acide, et le liquide négatif était limpide et alcalin, et ne se coagulait plus par la chaleur. Cependant l'addition d'acide acétique ou nitrique produisait un précipité abondant d'albumine. Ce résultat est facile à expliquer: la décomposition du sel marin avait amené de la soude du côté négatif, d'où était résulté un albuminate de soude que l'acide avait décomposé.

L'expérience fut répétée ensuite avec six paires des mêmes plaques, chargées avec une faible solution de sel; en employant encore des fils décomposants en platine, les résultats furent précisément les mêmes. Avec des fils de cuivre, le fil positif s'oxidait et était aussitôt recouvert d'une couche d'albumine qui augmentait rapidement.

La communication entre les vases et la pile ayant été renversée de manière que le vase positif devînt négatif, et réciproquement, on vit l'albumine qui avait été déposée, disparaître peu à peu et se reproduire sur la nouvelle lame positive.

Ces expériences prouvent que lorsque l'albumine est coagulée par l'action du courant électrique, il existe du côté positif de l'acide hydrochlorique mêlé de chlore, tandis que du côté négatif on voit apparaître de l'alcali.

1297. On voit maintenant en quoi diffèrent les résultats annoncés par M. Golding-Bird, et ceux qui ont été observés par Brande. Ce dernier ayant trouvé que la coagulation de l'albumine avait lieu presque constamment sur la lame négative d'une pile de 120 éléments, annonça que l'albumine devait sa solubilité dans l'eau à la présence de

la soude, et que la séparation de cet alcali au pôle négatif déterminait la coagulation de l'albumine. M. Golding, en montrant, comme du reste on l'avait déjà observé, que l'albumine se coagulait au pôle positif, en employant un pouvoir électrique très-faible, rendit difficile l'explication de Brande. Suivant lui, une solution d'albumine qui serait exempte de la moindre trace de sel, ne serait pas affectée par un courant électrique dont l'intensité serait insuffisante pour déterminer la séparation de ses particules. Il considère la coagulation comme le résultat d'effets secondaires qu'il envisage de la manière suivante: l'albumine ne peut jamais être obtenue exempte de chlorure de sodium qui s'y trouve combiné, ou à l'état de mélange. Lorsqu'on la soumet à l'action de la pile, le chlore passe du côté positif, et les bases du côté négatif. Aussitôt que le chlore est mis en liberté, l'albumine se précipite sur la lame positive, attendu qu'une très-petite portion de chlore est suffisante pour précipiter une quantité considérable d'albumine; du côté négatif, on trouve au contraire des albuminates alcalins qui sont solubles.

En opérant avec des lames décomposantes en cuivre, les effets sont modifiés en raison de l'oxidation du métal; l'oxide formé se combine avec l'albumine et produit un albuminate de cuivre insoluble, qui se précipite. On voit donc que pour reconnaître dans une solution la présence de l'albumine il suffit d'opérer avec une pile de cinq ou six éléments et des lames décomposantes en cuivre. Ces résultats prouvent que la précipitation de l'albumine est réellement le résultat d'un effet secondaire.

Voici maintenant comment M. Golding explique la différence des effets obtenus par Brande et par lui: Brande a toujours observé la coagulation au pôle négatif, en employant des batteries puissantes et chargées avec de forts acides; l'albumine, rendue insoluble par le chlore, a été transportée mécaniquement par le courant positif sur la lame négative. Nous n'osons adopter ni rejeter

cette explication, dans la crainte d'induire en erreur le lecteur; ainsi nous nous abstenons de prononcer.

1298. M. Golding a opéré ensuite directement sur l'albuminate de soude aussi neutre que possible et dissous dans l'eau. Les deux vases furent mis en communication au moyen de fils de platine, avec une pile de trente éléments. La coagulation fut encore produite en peu de temps dans le vase positif. Dans ce cas, il a pu attribuer le dépôt de l'albumine à l'action du courant électrique, puisque l'albumine joue le rôle d'acide par rapport à la soude. Les effets furent les mêmes avec une pile de cinq ou six éléments.

Les résultats obtenus en soumettant à l'expérience des combinaisons d'albumine avec des acides, n'ont pas été aussi satisfaisants, attendu que le dégagement du chlore détermine presque toujours la coagulation de l'albumine dans le vase positif. Cependant, M. Golding est parvenu à coaguler l'albumine au pôle négatif, et a prouvé ainsi que l'albumine peut remplir aussi le rôle de corps électro-positif.

CHAPITRE XII.

SUR LES RAPPORTS MAGNÉTIQUES GÉNÉRAUX DES MÉTAUX.

1299. M. Faraday a publié quelques considérations, que nous devons faire connaître, sur le rapport magnétique des métaux, en s'appuyant sur une idée assez généralement reçue en physique, savoir : que tous les métaux sont magnétiques comme le fer, mais à des températures très-différentes.

Ayant suspendu à des fils très-fins de platine des morceaux de plusieurs métaux dont il avait abaissé considérablement la température, il présenta ces derniers à l'une des extrémités d'une aiguille astatique très-sensible, afin de voir s'ils étaient magnétiques ou non. Les expériences furent faites dans une atmosphère d'environ 25 degrés Farenheith. Les métaux suivants, soumis à des températures inférieures à la congélation du mercure, ne donnèrent aucune trace de magnétisme.

L'arsenic.
L'antimoine.
Le bismuth.
Le cadmium.
Le cobalt.
Le chrome.
Le cuivre.
L'or.
Le plomb.
Le mercure.
Le palladium.
Le platine.
L'argent.
L'étain.
Le zinc.

M. Faraday a reconnu que le cobalt et le chrome, dans un très-grand état de pureté, ne sont pas magnétiques, et que, toutes les fois qu'ils possèdent cette propriété, ils ne la doivent qu'à des traces de fer ou de nickel que l'analyse indique.

1300. Cet habile physicien, après avoir vérifié les expériences de M. Barlow sur les conditions magnétiques du fer chaud, a cherché si le nickel se comportait comme le fer; il a trouvé que la température où il perd ses propriétés magnétiques est beaucoup plus basse que dans le fer, mais qu'elle est également définie et distincte. Chauffé et ensuite refroidi, ce métal reste non magnétique longtemps après que sa température est descendue au-dessous de la chaleur visible dans l'ombre. Quelques expériences lui ont indiqué que la température propre à enlever au nickel son magnétisme est d'environ 630 degrés. Il suffit d'un léger changement dans cette limite pour lui donner ou enlever cette propriété.

1301. Suivant lui, bien qu'on n'ait pas observé encore le magnétisme dans tous les métaux, parce qu'on n'a pu obtenir une température assez basse, tous les métaux cependant doivent avoir des rapports magnétiques semblables tels, qu'il y a pour chacun d'eux une certaine température au-dessous de laquelle ils sont magnétiques à la manière du fer et du nickel, tandis que lorsqu'ils la dépassent, ils ne peuvent développer cette propriété; il paraîtrait donc que cette capacité pour le magnétisme dépendrait, comme la volatilité et la fusibilité, d'une relation particulière entre les molécules des corps.

1302. M. Faraday désirant connaître la relation entre la température qui enlèverait à un aimant son pouvoir sur le fer doux, avec celle qui priverait ce dernier de sa faculté d'agir sur l'aimant, a élevé graduellement la température de ce dernier. Il a trouvé qu'à peine au point d'ébullition de l'huile d'amande, il perdait sa polarité presque soudainement, et agissait ensuite avec un aimant comme du fer doux refroidi; qu'il fallait ensuite l'élever tout à coup à la chaleur orange pour qu'il perdît

son pouvoir comme le fer doux. La température à laquelle la polarité était détruite paraissait varier selon la dureté de l'acier et la condition dans laquelle il se trouvait.

En opérant sur des fragments d'aimant naturel d'un pouvoir très-élevé, M. Faraday a reconnu qu'ils conservaient leur polarité à des températures plus élevées que les aimants artificiels; que la chaleur de l'huile bouillante ne paraissait pas affaiblir leur faculté magnétique; qu'ils ne perdaient leur polarité que justement au-dessous de l'incandescence visible à l'ombre; mais que depuis cette température jusqu'à une température plus élevée, qui est l'incandescence complète, ils se comportaient comme le fer doux et perdaient ensuite tout à coup leur pouvoir.

CHAPITRE XIII.

OBSERVATIONS DE M. FARADAY SUR LA MEILLEURE FORME A DONNER AUX APPAREILS VOLTAIQUES.

1303. Si l'on construisait une batterie voltaïque de zinc et de platine, ce dernier métal entourant le premier, comme dans l'appareil de Wollaston, et que l'on prît pour liquide une dissolution d'acide sulfurique, on n'aurait pas besoin de division isolante entre les surfaces de platine contiguës, pourvu qu'elles ne se touchassent pas, le même acide qui, entre le zinc et le platine, exciterait l'action puissante de la batterie, ne produirait pas entre les deux surfaces de platine de décharge d'électricité, et ne diminuerait en rien le pouvoir de l'auge. Ce résultat est facile à concevoir, si l'on se rend compte des effets électriques qui se manifestent dans la réaction du liquide sur le zinc.

Si le métal qui entoure le zinc est le cuivre, et que l'acide soit de l'acide nitro-sulfurique, alors il y a une décharge entre les deux morceaux de cuivre contigus, pourvu qu'il n'y ait pas d'autre issue par laquelle les forces puissent circuler; car s'il en existe une, le retour de la décharge est très-diminué.

M. Faraday, guidé par les principes, a construit un appareil voltaïque avec des morceaux de cuivre et de zinc disposés comme dans l'appareil de Wollaston et séparés l'un de l'autre au moyen d'une feuille de papier, afin de

prévenir le contact métallique (1). En examinant cet appareil, il a trouvé qu'il était le même que celui qui a été décrit par le docteur Hare (2). Dans l'appareil de Hare, les plaques de cuivre contiguës sont séparées par de légères plaques de bois; on verse l'acide sur les plaques, ou on l'en éloigne au moyen du quart de révolution d'un axe auquel sont fixées une auge contenant les plaques et une autre destinée à rassembler et à contenir le liquide. Les plaques de zinc dont M. Faraday a fait usage ont été coupées dans un morceau de métal laminé, et soudées aux feuilles de cuivre, comme l'indique la fig. 23. Après avoir été pliées, comme dans la fig. 24, elles furent réunies (fig. 25), pour être placées dans une boîte de bois. De petits morceaux de liége servaient à empêcher les plaques de zinc de toucher aux plaques de cuivre, et une feuille de papier fut interposée entre les surfaces contiguës de cuivre pour empêcher leur contact. Un appareil ainsi formé de quarante paires de plaques de trois pouces carrés fut comparé, pour enflammer un fil de platine, opérer une décharge entre des pointes de charbon, et produire des commotions, à 40 paires de plaques de 4 pouces, ayant doubles plaques de cuivre et disposées dans des auges de porcelaine à la manière ordinaire. Les effets furent les mêmes dans l'un et l'autre appareil.

Pour comparer leur pouvoir décomposant, M. Faraday a fait les expériences suivantes : les auges ayant été chargées d'une quantité connue d'acide, le courant électrique passait à travers un électromètre voltaïque pourvu de lames décomposantes de 4 pouces de long et de 2 à 3 pouces de large, et l'on fit usage successivement des acides sulfurique, nitrique et hydro-chlorique. On prépara d'abord un acide composé de 200 parties d'eau, 4 ½ parties d'acide sulfurique, et 4 parties d'acide ni-

(1) Transact. phil., 2e partie, 1835.
(2) Philosophical magazine, 1834, vol. LXIII, p. 241.

trique. On chargea ainsi l'auge contenant 40 paires de plaques de 3 pouces, et 4 autres de porcelaine, contenant chacune 10 paires de plaques, avec des plaques doubles de cuivre de 4 pouces carrés. Ces deux batteries furent successivement mises en expérience. La première auge produisit un effet tel, que la moyenne de quatre expériences donna pour chaque équivalent d'eau décomposée dans l'électromètre voltaïque, 88,4 d'équivalents de zinc dissous. Avec les auges de porcelaine, les équivalents de zinc détruits furent de 141 pour toute la batterie, pour chaque équivalent d'eau décomposée.

Ces résultats et d'autres que nous ne rapportons pas ici ne laissent aucun doute sur l'égalité ou même la supériorité de la nouvelle forme de batterie voltaïque sur les meilleures qui sont en usage.

1304. En résumé, voici les avantages de la nouvelle pile : 1° d'être très-compacte, puisque 100 paires de plaques n'occupent pas plus de 3 pieds de long; 2° en faisant tourner l'auge sur des pivots de cuivre, qui reposent sur des supports de cuivre, ces derniers donnent des limites fixes, qui ont le grand avantage d'unir l'appareil qu'on emploie avec la batterie avant de faire fonctionner celle-ci; 3° l'auge peut être mise promptement en état de servir, attendu qu'une petite quantité d'une dissolution d'acide suffit pour charger 100 paires de plaques de 4 pouces; 4° en faisant faire à l'auge un quart de révolution, elle devient active, et l'on retire le grand avantage de l'effet du premier contact du zinc et de l'acide, qui est double et quelquefois même triple de celui que la batterie peut produire une minute après quand elle est en repos; 5° quand l'expérience est terminée, on peut verser facilement l'acide qui est entre les plaques, de sorte que la batterie ne dépense pas sa force inutilement pendant que ses extrémités ne sont plus en contact : l'acide n'est pas épuisé sans nécessité; le zinc n'éprouve pas de perte sans utilité; en outre la charge étant mêlée uniformément, on en retire un très-bon effet; en procédant à une seconde expérience, on obtient de nouveau

l'effet important du premier contact; 6° la consommation du zinc est moindre, puisqu'il paraît, suivant M. Faraday, que le zinc dans la nouvelle forme de batterie est trois fois aussi effectif que celui de la forme ordinaire; 7° outre l'importance de la conservation du métal, la batterie est plus brillante et plus facile à ménager, ensuite les surfaces des plaques de zinc et de cuivre peuvent être rapprochées davantage que dans l'ancienne, quand on construit la batterie; 8° comme conséquence de la moindre consommation du métal, on peut se servir de plaques de zinc laminé au lieu de plaques épaisses; les premières ont paru supérieures dans l'action à celles-ci, peut-être en raison de la plus grande pureté du zinc; 9° il y a économie dans l'acide employé, puisqu'il est en rapport avec la quantité de zinc dissous; 10° l'acide est aussi plus facilement épuisé et il est en si petite quantité que l'on n'a jamais l'occasion de se servir de la charge ancienne, ce qui est un inconvénient quand on y est forcé, en raison du cuivre qu'elle renferme; 11° en employant pour la charge le mélange indiqué d'acide nitrique et sulfurique, il ne se développe pas de gaz dans les auges, de sorte qu'une batterie de quelques centaines de plaques peut être fermée sans inconvénient; 12° quand l'acide est épuisé, on peut l'enlever et le remplacer par un autre avec une grande facilité, et laver les plaques.

1305. M. Faraday a trouvé quelques inconvénients dans l'emploi de la nouvelle pile qu'il n'a pas encore pu faire disparaître: l'un d'eux est la grande difficulté que l'on rencontre à faire une auge de bois constamment humide, sous les alternatives d'humidité et de sécheresse auxquelles est soumis l'appareil voltaïque. Un autre inconvénient est la précipitation du cuivre sur la plaque de zinc, effet qui provient probablement de ce que les papiers interposés entre les plaques de cuivre retiennent de l'acide quand l'auge est vide, lequel agissant lentement sur le cuivre, forme un sel qui se mêle graduellement avec la charge suivante, et se réduit sur la plaque

de zinc. Il pense qu'en se servant de morceaux de verre on pourra remédier à cet inconvénient.

Il paraît que la grande supériorité des auges de M. Faraday dépend de la très-courte distance qui existe entre les surfaces de cuivre et de zinc, laquelle n'est que de $\frac{1}{10}$ de pouce, et de la qualité supérieure du zinc laminé sur le zinc ordinaire.

1306. M. Faraday a donné quelques résultats pratiques sur la construction et l'emploi de la nouvelle batterie. Sa batterie, composée de 40 paires de plaques, ayant d'abord été chargée avec un mélange de 200 parties d'eau et de 9 d'acide sulfurique, la batterie entière perdait 186,4 équivalents de zinc pour l'équivalent d'eau décomposée dans l'électromètre voltaïque. En chargeant l'appareil avec 200 parties d'eau et 16 parties d'acide hydrochlorique, il y avait 152 équivalents de zinc pour un équivalent d'eau décomposée. Avec un mélange de 200 parties d'eau et de 8 d'acide nitrique, la batterie perdait 74,16 équivalents de zinc pour 1 d'eau décomposée. Les acides sulfurique et hydrochlorique dégageaient beaucoup d'hydrogène sur les plaques, tandis que le dégagement était nul avec l'acide nitrique. On voit donc que l'acide nitrique a une supériorité sur les autres. Il résulte aussi de là qu'on a un grand avantage à ajouter de l'acide nitrique aux acides sulfurique et hydrochlorique.

1307. On a aussi un grand avantage à employer du zinc pur, attendu que la plupart des espèces de zinc, lorsqu'elles réagissent sur l'acide sulfurique, laissent plus ou moins une matière insoluble sur leur surface, en forme de croûte, composée de cuivre, de plomb, de zinc, de fer et de caducium à l'état métallique, qui diminue l'effet général. Le meilleur zinc est celui qui se dissout lentement dans une dissolution d'acide sulfurique en conservant son brillant. Le zinc du Brabant de Mosselman produit cet effet.

Lorsqu'on s'est servi des plaques d'une batterie, il faut

avoir l'attention d'enlever les dépôts métalliques qui sont formés sur les surfaces, surtout lorsque l'on veut évaluer avec exactitude sa force, attendu, comme on le sait depuis longtemps, que les batteries voltaïques sont beaucoup plus puissantes quand les plaques sont nouvelles que lorsqu'elles ont servi deux ou trois fois.

Les personnes qui voudront avoir quelques renseignements sur le nombre de plaques et les dimensions qu'elles doivent avoir pour obtenir un maximum d'effet, pourront consulter le mémoire de M. Faraday, ci-dessus indiqué, paragraphes 1151, 1152, etc.

CHAPITRE XIV.

DE LA LUMIÈRE ÉLECTRIQUE PRODUITE DANS LA DÉCHARGE DE LA TORPILLE.

1308. On a vu (1) que Walsh, Ingenhouze et Faklberg ont avancé avoir vu une étincelle dans la décharge du gymnote, tandis que d'autres physiciens n'ont pu observer ce phénomène dans les circonstances les plus favorables. Le P. Santi-Linari est parvenu à tirer l'étincelle de la torpille de la manière suivante (2) : il a pris un tube en verre recourbé en U, rempli en partie de mercure, à chaque extrémité duquel était fixé, au moyen d'un bouchon de liége et de cire d'Espagne, un fil de fer dont l'un des bouts s'arrêtait à une très-petite distance de la surface du mercure. L'appareil était fixé avec du mastic sur un socle de bois enduit de vernis. Les extrémités des fils de fer situés en dehors du tube étaient mises en communication avec des fils très-courts de platine, terminés par des lames du même métal, destinées à mettre en communication l'appareil avec diverses parties de la torpille. En établissant cette communication, il a obtenu une étincelle électrique visible, même pendant le jour, à l'endroit où les conducteurs étaient interrompus. Le P. Linari a répété l'expé-

(1) T. iv, p. 256.
(2) Biblioth. univers. de Genève, t. viii, 1837.

rience avec des hélices et des spirales électro-dynamiques, de la manière suivante : ayant pris un fil de cuivre de 577 mètres de long, il en fit deux hélices droites et trois spirales planes carrées; il introduisit dans une des hélices un cylindre de fer doux, et le système d'hélices fut lié ensemble et terminé par deux lames d'argent munies d'un manche isolant. Il pratiqua une interruption dans la portion du fil qui réunissait la dernière hélice avec une des lames d'argent, et les extrémités du fil dans cette interruption furent plongées dans le mercure et bien amalgamées. La torpille ayant été essuyée, fut posée sur une lame de verre, avec une des lames d'argent sur le dos et l'autre sur le bas-ventre. L'animal ayant été irrité, un des bouts du fil fut plongé dans le mercure, puis retiré légèrement et replongé de nouveau. M. Linari aperçut alors l'étincelle qui éclatait entre le fil et le mercure. Il la vit également en se bornant à frotter l'une contre l'autre les deux extrémités amalgamées du fil ; avec une seule torpille, M. Linari a obtenu jusqu'à 10 étincelles de suite, très-visibles et brillantes.

CHAPITRE XV.

NOUVELLES OBSERVATIONS SUR LA PRODUCTION ET LA DESTRUCTION DE L'INACTIVITÉ DU FER PLONGÉ DANS L'ACIDE NITRIQUE.

En terminant l'impression de la première partie de ce volume, nous apprenons que M. Schœnbein a publié un nouveau travail (1) sur les propriétés anormales du fer, qui nous ont déjà occupé (1026); nous croyons être agréable au lecteur en présentant ici un précis de ce travail :

1re *Expérience.* — M. Schœnbein a trouvé que l'on ne peut jamais faire passer le fer à l'état passif, en plongeant dans l'ordre indiqué (1026) les deux extrémités d'un fil de fer, dont l'une d'elles a été chauffée, dans deux vases différents remplis d'acide nitrique, communiquant entre eux au moyen d'une mèche d'asbeste, quelque courte qu'elle soit. Il en est de même encore en employant, comme moyen de communication, des siphons de longueur diverse remplis d'acide nitrique ou un fil de platine. Si le fil de fer sert de pôle positif à un appareil voltaïque composé d'un petit nombre d'éléments, et qu'on ferme le circuit en le plongeant dans le liquide, ce fil devient inactif, quel que soit le mode de communication établi entre les deux vases.

(1) Biblioth. univers. de Genève, juin 1837, p. 415.

2e *Expérience.*—Supposons que l'on plonge les deux extrémités d'un fil de cuivre CPD (fig. 26) dans deux vases A et B, qui renferment de l'acide nitrique à 1, 3 de densité; si l'on plonge dans A l'extrémité chauffée E d'un fil de fer EF, et dans B l'extrémité laissée intacte, celle-ci devient passive.

3e *Expérience.*—CPD est un fil de fer, l'extrémité C est active dans l'acide, D est passif, et le fil EF est disposé comme ci-dessus; dans ce cas aussi F devient inactif.

4e *Expérience.*—Tout étant disposé comme ci-dessus, E et F sont à l'état ordinaire; on plonge d'abord E dans A, puis F dans B, F devient encore inactif.

Quel que soit le nombre de fils de fer à l'état ordinaire qu'on plonge dans les vases, de la manière indiquée, toutes les extrémités en B deviennent passives, tandis que celles en A sont actives.

5e *Expérience.*—CPD étant un fil de fer dont l'extrémité C est active, et l'extrémité D passive, si l'on plonge dans B l'extrémité F à l'état naturel d'un autre fil de fer EF, puis dans A son extrémité E aussi à l'état naturel, dans le même instant celle-ci devient active ainsi que D; dans ces mêmes circonstances, les quatre extrémités qui plongent dans le liquide se trouvent toutes actives.

6e *Expérience.*—Si l'on plonge les quatre fils polaires de deux piles de quatre éléments chacune, dans deux vases contenant de l'acide nitrique ordinaire, de telle manière que le pôle positif de l'une se trouve avec le pôle négatif de l'autre dans le même vase et réciproquement; si ensuite on plonge dans l'un des vases l'extrémité chauffée d'un fil de fer et dans l'autre l'extrémité du même fil dans l'état naturel, cette dernière est inactive; mais ce qu'il y a de particulier, c'est que l'inactivité du fer ne se manifeste que dans le cas où l'on courbe l'extrémité naturelle du fil et qu'on la plonge dans l'acide de manière à ce que la courbure y parvienne avant l'extrémité.

M. Schœnbein a interprété de la manière suivante les faits que nous venons de rapporter :

1re *Expérience.*—Si l'extrémité naturelle d'un fil de fer ne dévient pas inactive lorsque les deux extrémités du fil plongent dans deux vases différents, bien qu'ils communiquent ensemble avec de l'asbeste, un syphon ou un fil de platine, cela tient à ce que le courant électrique qui rend le fer passif doit avoir une certaine intensité qu'il n'a pas quand ce courant a un trajet d'une certaine longueur à parcourir dans le liquide. Une preuve à l'appui de cette explication, c'est que si l'on fait passer dans le fer le courant d'une pile, il devient inactif, quel que soit le mode de communication établi entre les deux vases.

2e *Expérience.*—Pour expliquer le fait qui est mis en évidence par cette expérience, il faut se rappeler la résistance que les métaux opposent à un courant sur le passage duquel ils se trouvent, résistance qui est très-faible ou nulle quand les métaux interposés sont attaqués par le liquide qui traverse le courant. Quand le fil de communication CPD est formé d'un métal qui est attaqué par l'acide nitrique, le courant qui part de F n'éprouve aucun affaiblissement en entrant par l'extrémité D; il en est de même en sortant de C pour entrer dans le liquide en A.

M. Schœnbein fait observer que ces deux propriétés de laisser entrer et sortir sans l'affaiblir un courant venu du liquide et d'agir chimiquement sur le même liquide, ne se trouvent point réunies par hasard dans le même métal; qu'elles sont toujours réunies toutes les deux dans des métaux très-différents les uns des autres, de sorte que l'une dépend de l'autre.

3e *Expérience.*—Pour expliquer le fait que cette expérience met en évidence, il faut admettre qu'à l'instant où F plonge dans B, il y a deux courants dans la même direction, l'un qui part de C et traversant l'acide entre dans E, tandis que l'autre partant de F ne dure qu'un instant et traverse l'acide pour aller en D. Ce dernier, suivant M. Schœnbein, serait tellement affaibli par la résistance des extrémités passives D et E, que de retour en F il ne serait plus assez fort pour le rendre passif; mais le

courant parti de C lui donne, en se joignant à lui, la force nécessaire pour produire cet effet.

4e *Expérience.* — L'extrémité D étant la seule qui soit passive, le courant produit par l'immersion de F n'éprouve que la moitié de la résistance qu'il éprouverait dans le même moment si E était aussi passif; mais la perte qui en résulte en D n'est pas si considérable que le courant n'ait plus la force nécessaire à la production de l'inactivité.

5e *Expérience.* — Cette expérience montre pourquoi les deux extrémités E, F deviennent actives quand on les plonge dans le liquide. Tant que F plonge seul, aucun courant n'est possible, et cette extrémité se trouve à l'état naturel exactement comme tout le fil de fer ordinaire plongé dans de l'acide nitrique. En introduisant l'autre extrémité E dans l'acide de A, à l'instant de son immersion les deux courants qui partent de F et de C pénètrent dans E et se rendent négatifs; quant à l'extrémité inactive D, son passage à l'état actif, qui a lieu alors, est dû au courant qui part de F, pour lequel D est le pôle négatif. Or, si C et E étaient de platine ou des fils de fer inactifs, ce courant éprouverait un si grand affaissement qu'arrivé en D il ne serait plus assez fort pour le rendre actif, comme dans une expérience précédente; mais dans le cas actuel, en atteignant D il est assez fort pour le rendre actif.

6e *Expérience.* — M. Schœnbein avoue qu'il est très-difficile de rendre compte des faits auxquels cette expérience a conduit; il a essayé cependant d'en donner une explication; mais nous ne le suivrons pas dans le développement de ses idées à cet égard.

Les effets produits dans les expériences que nous venons de rapporter étant dus à des différences de courant, il faudrait, pour en donner une théorie satisfaisante, les avoir mesurés avec une grande exactitude; ce que n'a pas fait M. Schœnbein.

FIN DE LA PREMIÈRE PARTIE DU CINQUIÈME VOLUME.

TABLE

DES MATIÈRES CONTENUES DANS LA PREMIÈRE PARTIE DE CE VOLUME.

LIVRE XI.

DES ACTIONS LENTES.

CHAPITRE PREMIER.

DES CAUSES QUI EXERCENT UNE INFLUENCE SUR LES ACTIONS ÉLECTRO-CHIMIQUES EN GÉNÉRAL.

Pages

CHAPITRE II.

DE DIVERSES CAUSES POUVANT DÉPENDRE D'EFFETS ÉLECTRIQUES QUI EXERCENT UNE INFLUENCE SUR LES ACTIONS CHIMIQUES.

CHAPITRE III.

DES DOUBLES DÉCOMPOSITIONS, OU DÉCOMPOSITIONS SUCCESSIVES.

CHAPITRE IV.

DES ACTIONS LENTES.

CHAPITRE V.

DE LA FORMATION SPONTANÉE DE L'AMMONIAQUE ET DE QUELQUES AUTRES COMPOSÉS.

CHAPITRE VI.

DE L'ACTION DE L'ÉLECTRICITÉ A FORTE ET A FAIBLE TENSION SUR LES SUBSTANCES INSOLUBLES.

CHAPITRE VII.

CARBONATE DE CHAUX ET DES DOUBLES CARBONATES.

*

CHAPITRE VIII.

ACTIONS CHIMIQUES DIVERSES QUI DOIVENT ÊTRE PRISES EN CONSIDÉRATION DANS LES PHÉNOMÈNES GÉOLOGIQUES.

LIVRE XII.

DE L'INFLUENCE DES EFFETS ÉLECTRIQUES SUR LES PHÉNOMÈNES GÉOLOGIQUES.

CHAPITRE PREMIER.

DESCRIPTION DES PRINCIPAUX PHÉNOMÈNES GÉOLOGIQUES.

CHAPITRE II.

DE LA DÉCOMPOSITION DES ROCHES.

CHAPITRE III.

CHAPITRE IV.

LIVRE SUPPLÉMENTAIRE.

DÉCOUVERTES RÉCENTES EN ÉLECTRICITÉ.

CHAPITRE PREMIER.

CHAPITRE II.

CHAPITRE III.

CHAPITRE IV.

CHAPITRE V.

CHAPITRE VI.

FIN DE LA TABLE.